



Klimaforandringernes indflydelse på risikovurdering af lossepladser

Opsamlingsnotat efter workshop

Døssing Overheu, Niels; Tuxen, Nina; Korsgaard, Trine; Johnsen, Rolf; Sonne, Anne Thobo

Publication date:
2014

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Døssing Overheu, N., Tuxen, N., Korsgaard, T., Johnsen, R., & Sonne, A. T. (2014). *Klimaforandringernes indflydelse på risikovurdering af lossepladser: Opsamlingsnotat efter workshop*. Miljøstyrelsen. Miljøprojekter No. 1598

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Klimaforandringerne indflydelse på risikovurdering af lossepladser

Opsamlingsnotat efter workshop

Miljøprojekt nr. 1598, 2014

Titel:

Klimaforandringernes indflydelse på
risikovurdering af lossepladser

Redaktion:

Niels Døssing Overheu og Nina Tuxen, Orbicon
Trine Korsgaard, Region Syddanmark
Rolf Johnsen, Region Midtjylland
Anne Thobo Sonne, DTU Miljø

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

År:

2014

ISBN nr.

978-87-93178-93-9

Ansvarsfraskrivelse:

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord.....	4
Konklusion og sammenfatning	5
Summary and Conclusion.....	6
1. Baggrund, formål og ramme	7
1.1 Baggrund	7
1.2 Formål	9
1.3 Forudsætninger for opgaven	10
1.4 Ramme og struktur	10
2. Betydende elementer og processer	12
2.1 Typologier for lossepladser	12
2.2 Betydende elementer	12
2.3 Betydende elementer i forhold til lossepladstypologier	16
3. Relevante eksisterende data og metoder	19
3.1 Geologiske kort	19
3.2 Grundvandskort	21
3.3 Nedbørskort	22
3.4 Vandføringsdata	23
3.5 Oversvømmelseskort	24
3.6 Drænkort	25
3.6.1 Markdræn	26
3.6.2 Perkolatdræn	27
3.7 Lokale data	27
4. Screening af klimaforandringernes indflydelse	28
5. Gennemgang af cases.....	30
5.1 Introduktion af to cases	30
5.2 Betydende elementer og data for Lilleskovvej losseplads	30
5.3 Betydende elementer og data for Mågevej losseplads	32
6. Perspektivering	35
6.1 Jordforureninger	35
6.2 Aktiviteter	35
6.3 Receptorer	36
Referencer	37
Bilag 1: Erfaringsopsamling om klimaforandringers påvirkning af forureningsspredning fra lossepladser	40
Bilag 2: Losseplads-typologier	46

Forord

Dette notat er udført i et selvstændigt sideprojekt til det større projekt ”*Risikovurdering af lossepladser påvirkning af overfladevand*” (Miljøstyrelsen 2014a), under Miljøstyrelsens Teknologiudviklingsprogram for jord- og grundvandsforurening under titlen. Region Syddanmark er kontraktholder, og projektet er medfinansieret af Region Syddanmark og Region Midtjylland.

Projektet er et af flere parallelle projekter, der vedrører jordforureningers påvirkning af overfladevand (vandløb, søer og hav), og det er således med til at danne fagligt grundlag for regionernes nye opgave med vedtagelsen af ændringerne til Jordforureningsloven (Lov nr. 490 af 21. maj 2013). Projektet fokuserer på lossepladser og på, hvorledes de kan true overfladevand. Da langt de fleste lossepladser ligger tæt på vandløb, er hovedvægten lagt på denne overfladevandstype.

Notatets vurderinger og forslag bygger i høj grad på input fra en faglig gruppe, som var inviteret til en heldags-workshop om emnet i marts 2014 og som har kommenteret rapporten. Ved workshoppen deltog følgende personer:

- Jens Aabling, Miljøstyrelsen, Jord og Affald
- Susanne Nørgaard Marcussen, Kolding Kommune
- Rolf Johnsen, Region Midtjylland
- Tom Birch Hansen, Region Midtjylland
- Jes Pedersen, Region Midtjylland
- Trine Korsgaard, Region Syddanmark
- Jørn K. Pedersen, Region Syddanmark
- Jørgen F. Christensen, Region Syddanmark
- Hans Jørgen Henriksen, GEUS
- Jacob Birk Jensen, NIRAS
- Anne Thobo Sonne, DTU Miljø
- Nina Tuxen, Orbicon
- Niels Døssing Overheu, Orbicon

Som fagligt oplæg til workshoppen havde Rolf Johnsen (Region Midtjylland) udarbejdet en erfaringsopsamling om klimaforandrings påvirkning af forureningsspredning fra lossepladser, som er vedlagt i bilag 1. Ydermere havde Hans Jørgensen Henriksen (GEUS), Anne Sonne (DTU Miljø), Rolf Johnsen og Jørgen F. Christensen (Region Syddanmark) forberedt faglige indlæg på workshoppen.

Rapporten er kommenteret af workshoppens deltagere samt følgende fagpersoner:

- Tommy Bøg Nielsen, Region Sjælland
- Stella Dalby Agger, Region Sjælland
- Peter Wiilberg, Nationalt Center for Miljø og Energi, Århus Universitet (DCE)

Konklusion og sammenfatning

De forventede kommende klimaforandringer kan få betydning for robustheden af de risikovurderinger, som bliver udarbejdet de kommende år, som en del af regionernes opgave med en indsats overfor de lossepladser, der truer overfladevand. Det skyldes, at klimaforandringerne kan ændre på spredningen af forurening fra lossepladserne via grundvand til vandløb, søer og havet.

Klimaforandringerne vil bl.a. betyde, at vi får mere regn om vinteren og mindre regn om sommeren. Det vil få betydning for blandt andet grundvandsstanden samt vandstand og vandføring i vandløbene. Ligesom temperaturstigninger vil medføre havvandsstigninger. Hvilken effekt klimaforandringerne vil få for forureningsspredningen fra en losseplads afhænger af en række faktorer. Resultaterne fra bl.a. CLIWAT-projektet viser, at effekten kan være meget forskellig afhængig af de lokale forhold.

Dette projekt har til formål at vurdere, hvad klimaforandringerne betyder for den fremtidige udvaskning fra lossepladser imod overfladevand (med fokus på vandløb) ud fra en række opstillede typologier samt hvilke eksisterende data, der kan anvendes til at vurdere den fremtidige risiko.

Kernen i opgaven har været en én dags workshop med deltagelse af en række fagpersoner, som er valgt således, at der har været kompetencer indenfor både klimatilpasning og forudsigelse af klimaeffekter på grundvand, vandløb, viden om effekter af klimaforandringer på forurenede grunde samt viden om forhold af betydning for stoftransport m.m. fra lossepladser. Udbyttet af workshoppen er suppleret med en gennemgang af relevant litteratur anvist af workshoppens deltagere.

De betydende elementer og processer, som har indflydelse på vurderingen af klimaforandringernes påvirkning af forureningsspredning fra lossepladser er gennemgået. Der er taget udgangspunkt i det forventede spænd af klimaforandringer, dvs. generelt øget nedbør, højere temperaturer og kraftigere og hyppigere ekstremhændelser.

Herefter er beskrevet relevante metoder, herunder datagennemgang, til vurdering af de betydende elementer og processer. Disse kan anvendes til en screening af, om klimaforandringerne vil have væsentlig betydning for risikovurdering af lossepladser påvirkning af vandløb.

Gennemgangen af betydende elementer og processer samt relevante metoder danner grundlag for en samlet skematisk oversigt over, hvordan en screening af et evt. fremtidigt ændret risikobillede kan udføres i praksis. Screeningsmetodikken er anvendt på to case-lokaliteter.

Dette notat fokuserer på problemstillingen vedr. klimaeffekters påvirkning på risikovurdering af lossepladser påvirkning af vandløb. Klimaændringers påvirkning på jordforureningsområdet er dog en langt bredere problemstilling, og mange af de i dette notat beskrevne elementer og data vil sandsynligvis også kunne anvendes i andre sammenhænge, herunder andre typer receptorer og forureningstyper.

Summary and Conclusion

The expected climate changes may change the way contaminants are spread to surface waters via ground water bodies. So climate changes may have considerable impact on the robustness of future risk assessments of threats to surface waters from old landfills.

Climate changes may cause increased precipitation in winter and decreased precipitation in summer. This will affect ground water levels as well as water levels and discharge in streams. In addition, increasing temperatures mean a rise in sea levels. The effect of climate changes on contaminant leaching from a landfill depends on a variety of factors, and the results of e.g. the EU CLIWAT-project show that the effects can be very different depending on the local conditions.

The aim of this project has been to assess the consequences of climate changes for the future contaminant leaching from landfills towards surface waters (with a focus on streams) in the context of a number of specific conceptual site models and to give an overview of which existing data may be used to assess the future risk.

The core of the project was a one day workshop with a broad range of professionals from the fields of climate predictions, climate adaption, hydrogeology, contaminant transport and modelling. The output of the workshop was supplemented with a review of relevant literature.

The significant processes regarding climate-induced changes to contaminant transport have been examined, followed by an overview of relevant data that can aid in screening a landfill for possible climate-conditioned changes in risk assessment of the impacts to streams. The overview of relevant processes and data have been used to set up a comprehensive schematic guideline for practical screening of possible future changes in risk. The methodology has been applied on two case landfill sites.

This report is focused on climate-induced changes to risk assessment of impacts from landfills to streams. The effects on climate changes on the soil contamination sector is much broader however, and many of the described processes and data are applicable in a range of other contexts, such as other types of receptors or industries.

1. Baggrund, formål og ramme

1.1 Baggrund

De forventede kommende klimaforandringer kan få betydning for robustheden af de risikovurderinger, som bliver udarbejdet de kommende år, som en del af regionernes opgave med en indsats overfor de lossepladser, der truer overfladevand. Det skyldes, at klimaforandringerne kan ændre på spredningen af forurening fra lossepladserne via grundvand til vandløb, søer og havet.

Som vist i boks 1 vil de forventede klimaforandringer bl.a. betyde, at vi får mere regn om vinteren og mindre regn om sommeren. Det vil få betydning for blandt andet grundvandsstanden samt vandstand og vandføring i vandløbene. Ligesom temperaturstigninger vil medføre havvandsstigninger. Hvilken effekt klimaforandringerne vil få for forureningsspredningen fra en losseplads afhænger af en række faktorer. Resultaterne fra bl.a. CLIWAT-projektet viser at effekten kan være meget forskellig afhængig af de lokale forhold (EU 2011 samt dette notats bilag 1).

Boks 1. Hvad kan vi forvente af fremtidens klima?

Med den seneste rapport fra Det Internationale Panel om Klimaforandringer (IPCC) er der fremlagt overvældende dokumentation for, at klimaforandringer ikke blot kommer til at ske, men at de allerede er i gang (IPCC 2014).

For Danmark betyder det, at vi i fremtiden vil få et varmere og vådere vejr med flere ekstremer. De vigtigste forventede ændringer er, jf. Naturstyrelsen (2014a):

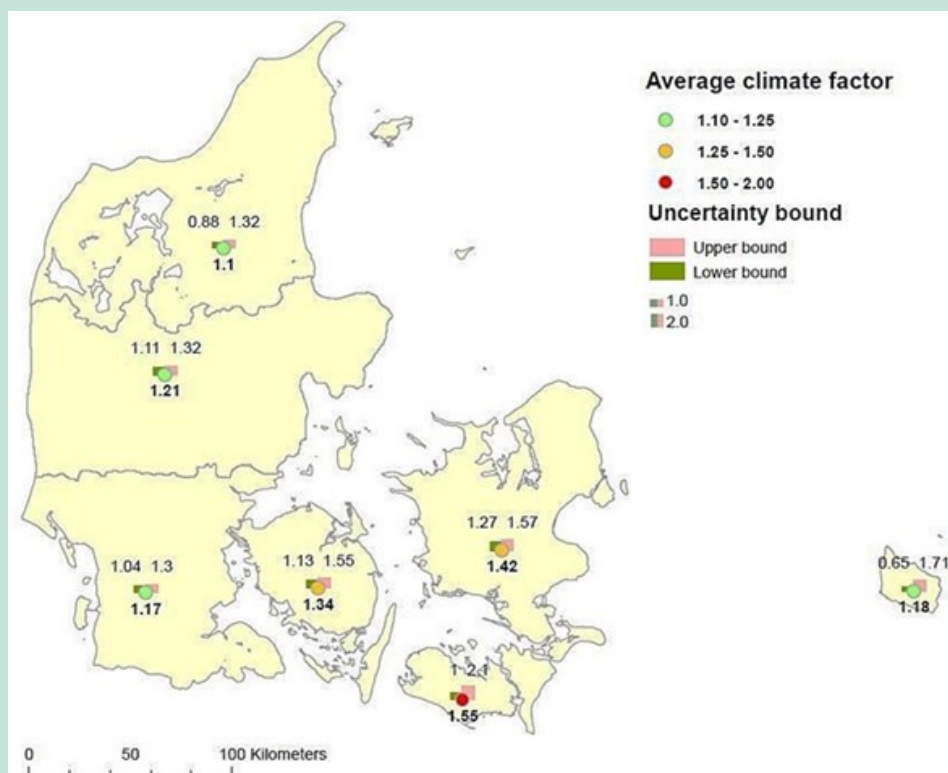
- **Mere regn.** Vi får mere regn om vinteren og mindre om sommeren. Om sommeren får vi både tørkeperioder og kraftigere regnsky. Generelt får vi dermed flere ekstremer.
- **Mildere vintre.** Vintrene vil blive mildere og fugtigere. Det betyder, at planternes vækstsæson kan blive forlænget.
- **Varmere somre.** Somrene bliver varmere, og der kan komme flere og længere hedeølger.
- **Højere vandstand.** Der forventes en generel vandstandsstigning i havene omkring Danmark.
- **Mere vind.** Vi kan forvente flere kraftige storme.
- **Større skydække.** Vi får generelt et svagt stigende skydække og stigningen vil være størst om vinteren.

Der er udarbejdet en lang række forskellige scenarier til forudsigelse af fremtidens klima, afhængigt af den fremtidige udvikling i udledningen af drivhusgasser. Ved beregning af konsekvenserne af klimaforandringer og udarbejdelse af klimatilpasningsplaner i Danmark tages generelt udgangspunkt i scenario A1B, i hvilket udledningen af drivhusgasser stiger indtil

midten af det 21. århundrede, hvorefter den aftager (IPCC 2014). Scenariet er resultatet af en såkaldt ENSEMBLE-model, som repræsenterer middelværdier af 11 forskellige klimamodeller, som hver især beskriver en regional klimamodel (RCM) for Danmark baseret på randbetingelser fra en global klimamodel (GCM). Et eksempel på en RCM er DHI's HIRHAM-model.

Konsekvenserne for det hydrologiske system i scenario A1B blev uddybet af Hans Jørgen Henriksen (GEUS) på workshoppens 4. marts 2014.

- Ændringerne kan beskrives ud fra en såkaldt 'klimafaktor' (også kaldet 'delta change faktor'), som udtrykker med hvilken faktor en parameter forventes at blive skaleret i fremtidens klima. For eksempel betyder en klimafaktor for ændringer i vandføring på 1,5 således en forøgelse af vandføringen på 50%.
- Klimaændringer giver store regionale og lokale forskelle i fremtidens grundvandsspejl og ekstreme afstrømningsforhold.
- GEUS har regnet hydrologiske ændringer med klimascenarier, der forudsiger en hhv. stor ("våd"), median og en lille ("tør") ændring fra referenceperioden (1961-1990) til fremtiden (2021-2050). Beregninger viser, at skelnen mellem våd, median og tør kun er brugbar for relativt hyppige ekstremhændelser, fx med gentagelsesperiode svarende til 10 år. For sjældnere hændelser, fx 100 år eller mere, rangordner input fra klimamodellerne ikke længere jf. de tre 'stereotyper' våd, median og tør, og derfor er det nødvendigt ved sjældne hændelser at anvende samtlige klimamodelinput til vurderingen af fx ændret 100 års max afstrømning på årsbasis, eller for sommerperioden 1/5-1/10.
- Der forventes betydelige stigninger i grundvandsspejlet på mere end 1/2 meter i store dele af landet, og øgede ekstreme afstrømninger for fx en 100 års hændelse i mange vandløb med deraf følgende risiko for oversvømmelse og øget erosion.
- De største ændringer i maksimumafstrømningen (klimafaktor > 1,5) forventes i Sydøstdanmark, jf. Figur 1. For sommerperioden 1/5-1/10 er klimafaktoren visse steder større end for den tilsvarende analyse baseret på hele året og andre steder mindre.
- Der er væsentlige usikkerheder i spil. GEUS opererer med en såkaldt "usikkerhedskaskade" med usikkerhedsbidrag fra data om drivhusgasemissioner, klimamodellerne, nedskalering, de anvendte hydrologiske modeller og hydrologiske ændringer. De store usikkerheder er den primære grund til anvendelse af ENSEMBLE-modeller, idet usikkerheden reduceres, jo flere modeller der indgår.
- Fokus i kommunernes klimatilpasningsplaner er perioden frem til 2050, da udviklingen herefter er for usikker.



klimascenarier og/eller indhente yderligere data m.m. Screeningen sker alene på baggrund af eksisterende data og forud for stillingtagen til om supplerende undersøgelser er nødvendige.

3. At give en vurdering af hvordan klimaforandringerne vil påvirke forureningsspredningen fra hovedprojektets to feltlokaliteter (cases). Dermed er udgangspunktet og vidensgrundlaget projektets forslag til metode for undersøgelse af lossepladser og det foreslåede koncept for risikovurdering. Desuden skal det fremgå hvilke data og metoder der med fordel kan suppleres med for at øge kvaliteten af vurderingen.

1.3 Forudsætninger for opgaven

Forudsætninger i delopgaven er:

- Klimaforandringernes effekt vurderes i forhold til vandløb, da disse er den altovervejende overfladevandsreceptor for udvaskning fra lossepladser (75-80 %, jf. Miljøstyrelsen (2014a)). I notatets afsluttende kapitel foretages en perspektivering i forhold til andre overfladevandstyper, såsom fjorde, søer og havområder.
- Ved vurdering af klimaforandringerne tages der afsæt i de retningslinjer der er givet i statens vejledning til klimatilpasningsplaner og Region Midtjyllands skabelon. Det vil blandt andet sige, at klimaforandringerne beskrives ved A1B-scenariet for perioden 2021-2050 (Naturstyrelsen 2014a; Region Midtjylland 2013).
- Det forudsættes at der alene arbejdes med klimaforandringer i en maksimal afstand fra overfladevand, der er lig det faneestimat som er foreslået i lossepladsprojektet (Miljøstyrelsen 2014a), dvs. maksimalt 180 m.

1.4 Ramme og struktur

Kernen i delopgaven har været en én dags workshop med deltagelse af en række fagpersoner, som beskrevet i forordet. Fagpersonerne er valgt således, at der har været kompetencer indenfor både klimatilpasning og forudsigelse af klimateffekter på grundvand, vandløb,, viden om effekter af klimaforandringer på forurenede grunde samt viden om forhold af betydning for stoftransport m.m. fra lossepladser.

Som fagligt oplæg til workshoppen havde Rolf Johnsen (Region Midtjylland) udarbejdet en erfaringsopsamling om klimaforandringers påvirkning af forureningsspredning fra lossepladser, som er vedlagt i bilag 1. Ydermere havde fire af workshopdeltagerne forberedt faglige indlæg til workshoppen;

- Hans Jørgensen Henriksen (GEUS) gav en introduktion til forventningerne til fremtidens klima og betydningerne for det hydrologiske system.
- Anne Sonne (DTU Miljø) introducerede de seks lossepladstypologier fra Miljøstyrelsen (2014a) og de to case-lokaliteter.
- Rolf Johnsen (Region Midtjylland) og Jørgen F. Christensen (Region Syddanmark) fremlagde baggrund og konklusioner fra den udførte erfaringsopsamling (bilag 1).

Oven på introduktionen til begreberne bestod størstedelen af workshoppen af gruppearbejde om hvilke elementer og processer der har betydning for vurdering af klimaforandringernes påvirkning af forureningsspredning fra lossepladser, samt hvilke data og metoder, der kan støtte en sådan vurdering. Arbejdet blev struktureret omkring de seks lossepladstypologier (Miljøstyrelsen 2014a), som kort introduceres i dette notats kapitel 2.

Udbyttet af workshoppen er suppleret med en gennemgang af relevant litteratur anvist af workshoppens deltagere. Al den gennemgåede litteratur optræder på referencelisten i slutningen af notatet, som derfor indeholder flere referencer, end der direkte er refereret til i teksten.

De følgende to kapitler beskriver udbyttet af dels gennemgangen af betydende elementer og processer for lossepladstypologierne (kapitel 2) og hvilke data og metoder, der kan anvendes i vurderingen af, om klimaforandringerne vil have afgørende betydning (kapitel 3). Kapitel 4 indeholder et forslag til en screeningsproces for, om klimaforandringer kan have betydning for en given losseplads. I kapitel 5 anvendes screeningsprocessen på de to case-lokaliteter fra Miljøstyrelsen (2014a). I kapitel 6 perspektiveres arbejdet, med særlig fokus på, om erfaringerne kan bruges over for andre typer af receptorer og andre typer forureninger.

2. Betydende elementer og processer

I dette kapitel gennemgås betydende elementer og processer, som har indflydelse på vurderingen af klimaforandringerne påvirkning af forureningsspredning fra lossepladser. Der er taget udgangspunkt i det spænd af klimaforandringer, som er beskrevet i kapitel 1 – dvs. generelt øget nedbør, højere temperaturer og kraftigere og hyppigere ekstremhændelser. Der henvises i øvrigt til bilag 1, der resumerer erfaringer fra CLIWAT projektet samt modelstudier i Region Midtjylland til belysning af problemstillingen.

Det skal understreges, at elementerne ikke er opstillet ud fra et videnskabeligt studie, men stammer fra de vurderinger og diskussioner, der er taget på workshopen.

2.1 Typologier for lossepladser

Der er taget udgangspunkt i 6 forskellige typologier for lossepladser, som beskrevet i Miljøstyrelsen 2014a. Typologierne er udarbejdet efter inspiration fra Ejlskov et al. (1998), Miljøstyrelsen (2004) og Dahl et al. (2007), og har til formål at systematisere generelle træk ved lossepladser – i forhold til indretning og placering i en hydrogeologisk kontekst med fokus på vandløb. De seks typologier er vist i bilag 2, som gengiver tabel 4.3 fra hovedrapporten (Miljøstyrelsen 2014a).

Der er 4 betydende medier for transport i og omkring en losseplads mod grundvand og overfladevand:

- Umættet transport
- Grundvandstransport
- Overfladeafstrømning/intern afstrømning af perkolat
- Drænastrømning

Transportvejene har forskellig vigtighed i forhold til hvilken typologi, der er tale om.

2.2 Betydende elementer

På workshopen blev der identificeret en lang række elementer, der kan være betydende for en vurdering af klimaforandringerne påvirkning af forureningsspredningen til overfladevand fra lossepladser. Elementerne er beskrevet i nedenstående tekst. I Tabel 1 er det angivet i hvilke typologier visse af elementerne vurderes særligt relevante.

1. Ændret vandbalance

Den generelt højere nedbør og hyppigere forekomst af ekstremregnhændelser vil have betydning for vandbalancen. Hvordan et givent system reagerer på de ændrede forhold afhænger af en lang række faktorer – ikke mindst de geologiske – og nogle af ændringerne vil have modsatrettede konsekvenser i forhold til udvaskning fra lossepladser. Det kan således være meget svært at gennemskue hvad den samlede effekt bliver. Modellering kan sandsynligvis være med til at vurdere sandsynlighederne, men kræver en stor detaljeringsgrad, især i forhold til at forudsætte tærskler for processer. Med ordet tærskel menes, at en ligevægt tipper til en anden side på baggrund af selv en lille ændring. Det kan f.eks. være, at et vandløb går fra at afgive vand til grundvandet til i stedet at blive grundvandsfødt, fordi grundvandsspejlet stiger en lille smule og gradienten dermed skifter retning, eller at en

drænledning bliver aktiv grundet ændring i grundvandsstand. På workshoppen blev der identificeret et generelt behov for en bedre forståelse af vandbalancen ift. f.eks. en øget perkulatudsivning og et øget vandløbsflow og omvendt. Ændringer i dette forhold giver ikke nødvendigvis en øget forureningspåvirkning i et klimascenario med højere nedbør.

a. Ændret udvaskning

Som følge af den generelt øgede nettonedbør, vil en større mængde vand kunne sive igennem den enkelte losseplads. Dette vil formentlig medføre en øget forureningsflux, da fluxen er et produkt af vandgennemstrømningen og koncentrationen af forureningsstoffer. Det forventes ikke, at opløsningskinetikken fra affaldet vil være en begrænsende faktor, og derfor at koncentrationerne vil ændre sig. Dog kan meget store vandgennemstrømninger i ekstremssituationer måske betyde, at koncentrationerne falder og dermed at den samlede forureningsflux ikke øges proportionalt med den øgede nettonedbør. En yderligere konsekvens af en øget forureningsudvaskning er at varigheden af påvirkningen reduceres – dog vurderes det, at lossepladser stadig vil kunne påvirke det omgivende vandmiljø i flere årtier fremover.

Det skal i denne henseende erindres, at det er afgørende, hvor permeabelt lossepladsfyldet er. Hvis der er meget lav permeabilitet, kan der kun forventes en begrænset ændring i udvaskningen. Yderligere vil afværgeforanstaltninger, som f.eks. dræn, være en faktor, som påvirker fluxen ud af pladsen.

Fremtidens nedbørsmønster forventes i større grad at være præget af ekstremhændelser og længere tørkeperioder, og det er sandsynligt, at lerjorde ikke i samme grad vil kunne optage den ekstreme nedbør, som derfor vil løbe af på overfladen. Det er dermed sandsynligt, at man på lerjorde kan opleve en lavere nettoinfiltration, og dermed lavere udvaskning, på trods af højere nettonedbør.

b. Ændret grundvandsspejl

Den øgede nettonedbør vil også kunne betyde en stigning i grundvandsspejlet. Der er gennemført en række simuleringer heraf (f.eks. Naturstyrelsen (2013a); EU (2012)), men resultaterne er behæftet med stor usikkerhed fx i forhold til, om der forekommer dræn, intensiteten af ekstremhændelser osv. Arbejdet viser endvidere, at grundvandsstigninger afhænger af faktorer såsom den lokale geologi, den fremtidige fordampning og mulighed for overfladevandsafstrømning. Således viser modellerne, at mens der i visse områder ikke forudses markante grundvandsstigninger (nogle steder endda fald, jf. de tørre klimamodeller), vil stigningen i andre områder overstige 5 m.

i. Opfugtning af tørre lommer

I de områder, hvor der vil ske en stigning i grundvandsspejlet, vil det kunne medføre, at tidligere tørre områder i affaldet bliver opfugtet. Sker dette, vil det kunne medføre en øget udvaskning af forurenende stoffer.

ii. Ændrede redoxforhold

En stigning i grundvandsspejlet vil også kunne medføre, at redoxforholdene i lossepladsens kemiske profil ændres markant. Ved stigende grundvandsspejl vil en eventuel umættet zone under lossepladsen blive tyndere. Den tyndere umættede zone vil betyde, at de meget forureningsreducerende processer der sker her (især aerob nedbrydning) vil blive mindre betydende for mange forureningskomponenter. Visse stoffer (fx chlorerede opløsningsmidler) nedbrydes dog bedst under anaerobe forhold. Udfældning af tungmetaller med karbonat eller som sulfider er også redoxafhængigt. Fx udfældes kobber og zink bedst under

reducerede forhold, mens arsen udfældes via co-precipitation med eller sorption på jernoxider under aerobe forhold (Kjeldsen et al. 2002). En anden konsekvens af et højere grundvandsspejl er at forureningsfanen vil ligge mere terrænnært, hvor det omkringliggende grundvand sandsynligvis vil være mindre reduceret end ved en dybereliggende forureningsfane. Dette vil betyde, at gradienten i redoxforhold hen over randen af forureningsfanen vil være større. Det er påvist for fx phenoxysyrer, at langt den største omsætning sker netop på randen af forureningsfanen fra lossepladsen, når redoxgradienten er stor.

iii. Ændret slutreceptor

Den ændrede vandbalance kan betyde, at slutreceptoren for en forureningsfane ændres. Således har modellering af forureningsfanen nedstrøms Hørløkke losseplads (bilag 1) vist, at den øgede nedbør medførte et så forhøjet grundvandsspejl, at der blev skabt hydraulisk kontakt til det nærliggende vandløb. Således ændredes slutreceptoren for forureningsfanen sig fra grundvandsressourcen til overfladevand, og en ny risikovurderingssituation opstod.

iv. Ændret afdræning

Hvis grundvandsstanden stiger, kan det medføre, at gamle tørlagte dræn reaktiveres. Dette vil ændre transportvejen for forureningen markant, og kan i værste fald medføre direkte kortslutning mellem forureningsperkolat og vandløbet. Udvaskningen af perkolat via dræn til vandløb vil være højere, end hvis perkolatet tager strømningsvejen igennem jorden til vandløbet. En øget vandstand i vandløbet (som følge af øget vandføring eller havstigning og opstuvning) kan også betyde, at vand herfra kan løbe ind i drænet og opfugte fyldet. Når vandstanden i vandløbet senere falder vil det ophobede vand afdrænes i løbet af kort tid, hvilket kan give en kraftig pulsbelastning.

c. Ændrede strømningshastigheder og opholdstider

Den øgede udvaskning som følge af den ændrede nettonedbør vil også kunne medføre, at strømningshastighederne i grundvandet øges, såfremt et grundvandsmagasin af en given mægtighed skal betinge afstrømning af en større nedbørsmængde. Dette betyder, at opholdstiden i grundvandet, inden forureningsstofferne når en overfladevandsreceptor, i nogle tilfælde vil reduceres. Da der i grundvandszonen foregår mange betydende attenueringsprocesser (se beskrivelse heraf i Miljøstyrelsen (2014a)), vil den reducerede opholdstid kunne medføre, at forureningsfluxen reduceres mindre i et fremtidigt klimascenarium med større påvirkning af overfladevandet til følge. Øgede strømningshastigheder vil endvidere medføre, at forureningsfanerne bliver længere. Det er dog ikke ligetil at vurdere, om dette medfører, at de afstandskriterier, der er indbygget i Miljøstyrelsens screeningsværktøj for vurdering af jordforureningers påvirkning af overfladevand, bør justeres (Miljøstyrelsen 2014b). Næsten alle ukontrollerede lossepladser har i dag en alder, hvor det kan forventes at en eventuel forureningsfane vil have nået en given nedstrøms overfladevandsreceptor.

d. Ændret grundvand-overfladevandsinteraktion

Som nævnt kan processer som overstiger en given tærskel, såsom ind/udstrømning til vandløb, aktivering af dræn og overfladeafstrømning markant ændre både størrelsen af udvaskningen og transporttiden mellem losseplads og overfladevand. Ligeledes vil ændret havniveau sammenholdt med ændrede temperaturforhold/vandkvalitetsforhold kunne bevirke, at grundvandsafhængige terrestriske økosystemer påvirkes af ændrede forureningsfaner.

e. Større overfladevandsafstrømning

Ved ekstreme regnhændelser vil en større del af vandet afstrømme på overfladen fremfor at sive ned i grundvandet, idet visse jordtyper ikke kan absorbere regnvandet hurtigt nok. Det betyder, at for lossepladser, der ligger tæt på vandløb, kan der ske en direkte overfladeafstrømning af forurenende komponenter og sedimenter til vandløbet.

2. Oversvømmelse af det forurenede areal

I de vådere perioder i vinterhalvåret eller i forbindelse med ekstremhændelser, vil den øgede nedbør kunne medføre at en losseplads oversvømmes. Det vil som tidligere nævnt kunne medføre direkte overfladeafstrømning, hvis lossepladsen ligger tæt på vandløb, men det kan også betyde, at nedslivningsområdet bliver større. Dette vil igen medføre bredere forureningsfaner. I forhold til en vurdering af en jordforurenings påvirkning af overfladevand opereres med såkaldte blandingszoner. Blandingszoner er zoner nedstrøms udsivningsstedet, hvor kvalitetskriterierne for de pågældende stoffer kan overskrides – nedstrøms blandingszonerne skal kriterierne være overholdt. Ved en bredere forureningsfane kan konsekvensen være at, selvom koncentrationerne ikke nødvendigvis stiger, så kan påvirkningen ikke holdes inden for blandingszonerne.

3. Bredere og større vandløb

Den generelt større nedbør samt ekstremhændelser vil kunne medføre, at vandløbene – i hvert fald i perioder – bliver bredere og større og med generelt større vandføring. Dette kan have to konsekvenser af betydning for risikovurderingen:

a. Øget erosion

Bredere vandløb kan betyde en øget erosion af vandløbsskrænterne. Mange lossepladser ligger helt ned til vandløb, og her vil resultatet kunne være at affald og forureningskomponenter kan skride direkte ned i vandløbet med en øget påvirkning til følge.

b. Ændret medianminimumsvandføring

Selvom netto nedbøren og dermed vandføringen i vandløb generelt forventes at stige, betyder det ikke nødvendigvis, at medianminimumsvandføringen også vil stige, idet der forventes mere ujævne vejr-situationer og således også perioder med tørke, ligesom der forventes øgede markvandingsbehov som følge af stigende temperatur og fordampning. I Miljøstyrelsens screeningsværktøj for vurdering af jordforureningers påvirkning af overfladevand, anvendes medianminimumsvandføringen som worst-case situation for fortynding af en forureningsfane i vandløbet (Miljøstyrelsen 2014b). Det betyder, at hvis medianminimumsvandføringen falder, så mindskes fortyndingen, og de resulterende koncentrationer vil blive højere, og selv en uændret forureningsflux fra lossepladsen kan ændres fra at være ”uproblematisk” til at give en uønsket påvirkning. En periodevis reduceret nedbør kan dog også mindske udvaskningen fra lossepladsen, så i et vist omfang forventes de negative effekter af lavere medianminimumsvandføring at blive opvejet af lavere indsivning fra grundvandszonen.

4. Ændrede temperaturforhold

Generelt forventes højere temperaturer. Dette kan tænkes at påvirke de mikrobielle processer der foregår dels inde i lossepladsen (methandannelse m.m.), samt i forureningsfanen nedstrøms lossepladsen. For at vurdere, om der er tale om væsentlige påvirkninger, kunne man se på sager i fx Sydeuropa, hvor temperaturen er højere. Også vandløbets temperatur vil stige, og dermed vil det naturlige iltindhold falde. Det kan betyde, at det eventuelle iltforbrug, der kan være fra forureningsstoffer, der siver ud i vandløb, kan blive mere kritisk i forhold til økosystemet. Hvis iltindholdet er lavt grundet høj temperatur, skal der meget mindre påvirkning fra lossepladsen til, før det bliver et problem for vandmiljøet (udvaskning af organisk stof og jern).

5. Menneskabte tiltag som følge af klimaforandringer

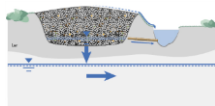
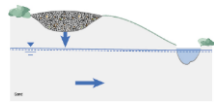
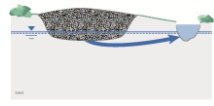
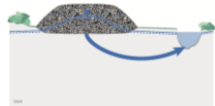
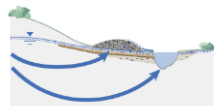

Allerede i dag iværksættes mange tiltag som følge af klimaforandringer fx i forbindelse med de kommunale klimahandleplaner. Ændringerne kan være indførelse af LAR løsninger (Lokal Afledning af Regnvand), etablering af sluser og dæmninger, tiltag på landbrugsarealer, ændret indvindingsstruktur m.m. Alle disse menneskeskabte tiltag kan have en afledt effekt på risikovurderingen for lossepladser tæt på overfladevand, og ved udførelse af sådanne løsninger bør det derfor undersøges, hvorvidt tiltagene forårsager øget vandløbsbelastning.

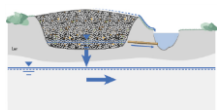
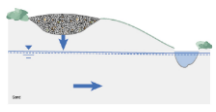
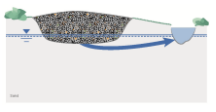
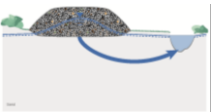
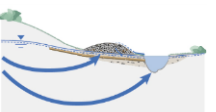
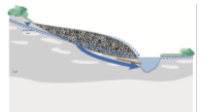
2.3 Betydende elementer i forhold til lossepladstypologier

I Tabel 1 er det angivet i hvilke typologier visse af elementerne vurderes særligt relevante. De seks typologier er nærmere gennemgået i bilag 2, som gengiver tabel 4.3 fra hovedrapporten om lossepladser og overfladevand (Miljøstyrelsen 2014a).

TABEL 1

OVERSIGT OVER BETYDENDE ELEMENTER FOR EN VURDERING AF KLIMAFORANDRINGERES PÅVIRKNING AF FORURENINGSSPREDNINGEN TIL OVERFLADEVAND FRA LOSSEPLADSER MED ANGIVELSE AF HVILKE TYPOLOGIER DE ER VIGTIGE OVERFOR. ET STORT X ANGIVER EN FORVENTET STOR EFFEKT OG ET LILLE KRYDS EN FORVENTET MINDRE EFFEKT.

Element/ proces	Typologi A	Typologi B	Typologi C	Typologi D	Typologi E	Typologi F
Typologi						
Beskrivelse	En tør losseplads med hængende vandspejl i bunden (fx tidligere lergrav)	Tør eller bakkeformet losseplads med en dyb umættet zone under	En våd losseplads i et sandmagasin (fx en gammel grusgrav)	En våd losseplads i et sandmagasin med forhøjet grundvandsspejl i lossepladsen (mound)	En losseplads på et engareal i et udsivningsområde til et vandløb	En losseplads i moræner tæt ved et vandløb (typisk på en skråning)
Øget udvaskning	X	X	X	X		X
Stigende grundvandsspejl		X	X	X	X	X
Øget opfugtning af tørre lommer i affald	X	Kan blive til c	X	X	X	X
Ændrede redoxforhold	X		X	X		
Ændrede strømningshastigheder i grundvandet	X		X	X		
Ændret slutreceptor	X	X			X	
Ændret afdræning	X			X	X	X

Element/proces	Typologi A	Typologi B	Typologi C	Typologi D	Typologi E	Typologi F
Typologi						
Beskrivelse	En tør losseplads med hængende vandspejl i bunden (fx tidligere lergrav)	Tør eller bakkeformet losseplads med en dyb umættet zone under	En våd losseplads i et sandmagasin (fx en gammel grusgrav)	En våd losseplads i et sandmagasin med forhøjet grundvandsspejl i lossepladsen (mound)	En losseplads på et engareal i et udsivningsområde til et vandløb	En losseplads i moræner tæt ved et vandløb (typisk på en skråning)
Større overfladevandsafstrømning	X			X	X	(X)
Oversvømmelse af det forurenede areal	X	Kan blive til c		X		X
Bredere og større vandløb				X	X	
Øget erosion					X	X
Ændret medianminimumsvandføring	X				X	X
Ændrede temperaturforhold	X	X	X	X	X	X
Menneskabte tiltag	X	X	X	X	X	X

3. Relevante eksisterende data og metoder

Dette kapitel beskriver relevante metoder, herunder datagennemgang, til vurdering af de betydende elementer og processer identificeret i kapitel 2. Disse kan anvendes til en screening af, om klimaforandringerne vil have væsentlig betydning for risikovurdering af lossepladsers påvirkning af vandløb.

Såfremt screeningen viser, at klimaforandringerne vil have væsentlig betydning, kan det herefter være formålstjenstligt at udføre en grundigere analyse af den enkelte lokalitet hvis den fremtidige risiko under ændrede klimaforhold skal vurderes. Undersøgelser af tærskelprocesser (aktivering af dræn eller andre kortsluttende processer), omfang af pulshændelser, konkret vurdering af øget erosionsrisiko og lignende kan f.eks. ikke vurderes i en screening. I nogle tilfælde kan det formentlig være relevant at opsætte en hydrogeologisk model til nærmere beregning af de fremtidige effekter.

De præsenterede data og metoder tager udgangspunkt i opsamlingen på workshoppen, suppleret af oplysninger fra den udførte litteraturgennemgang. Der er derfor formentlig ikke tale om en udtømmende liste, men et bredt funderet udgangspunkt for screeningen.

For en konkret losseplads anbefales indledningsvist at

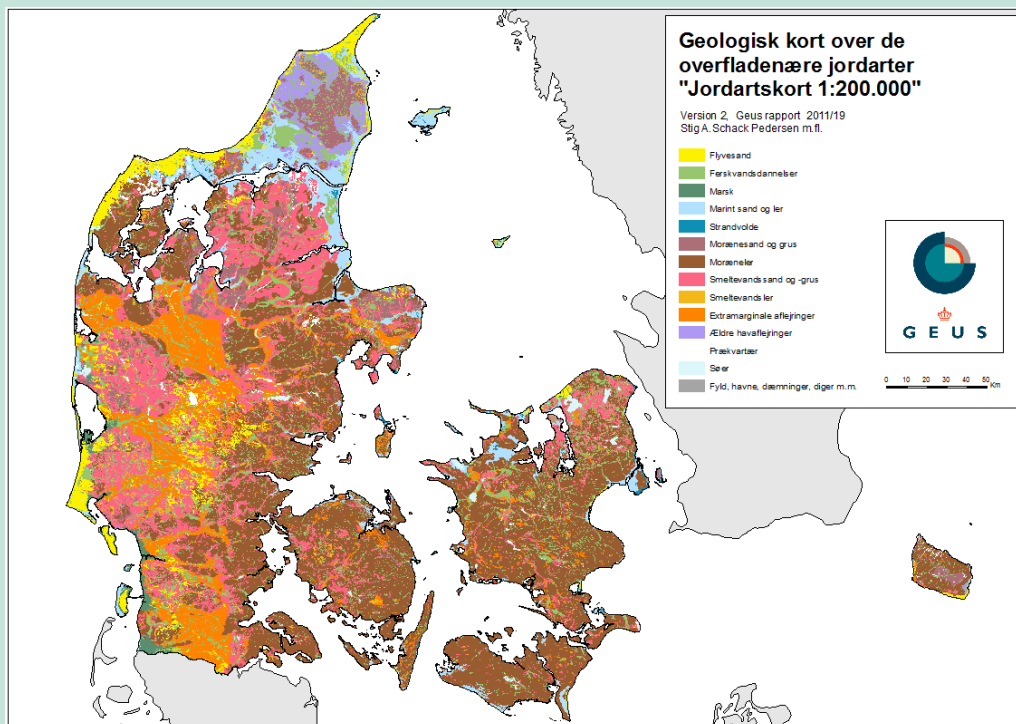
- Vurdere hvilken typologi, lokaliteten tilhører og vurdere elementer af betydning for evt. ændret fremtidig risikovurdering, jf. Tabel 1.
- Indhente den nyeste klimatilpasningsplan for den aktuelle kommune (den gældende, eller alternativt den, der er i høring). Det er også muligt at forhøre sig hos kommunen, om den har nogle mere detaljerede eller digitaliserede kort, som anvendes i administrationen. Ofte vil digitaliserede kort være at finde på kommunens hjemmeside eller evt. en særskilt klimatilpasningsportal, som f.eks. for Holstebro Kommune på <http://hkgis.holstebro.dk/KlimatilpasningDMZ/>. Eller benyt de mere generelle data fra Naturstyrelsen som er at finde på klimatilpasning.dk.

3.1 Geologiske kort

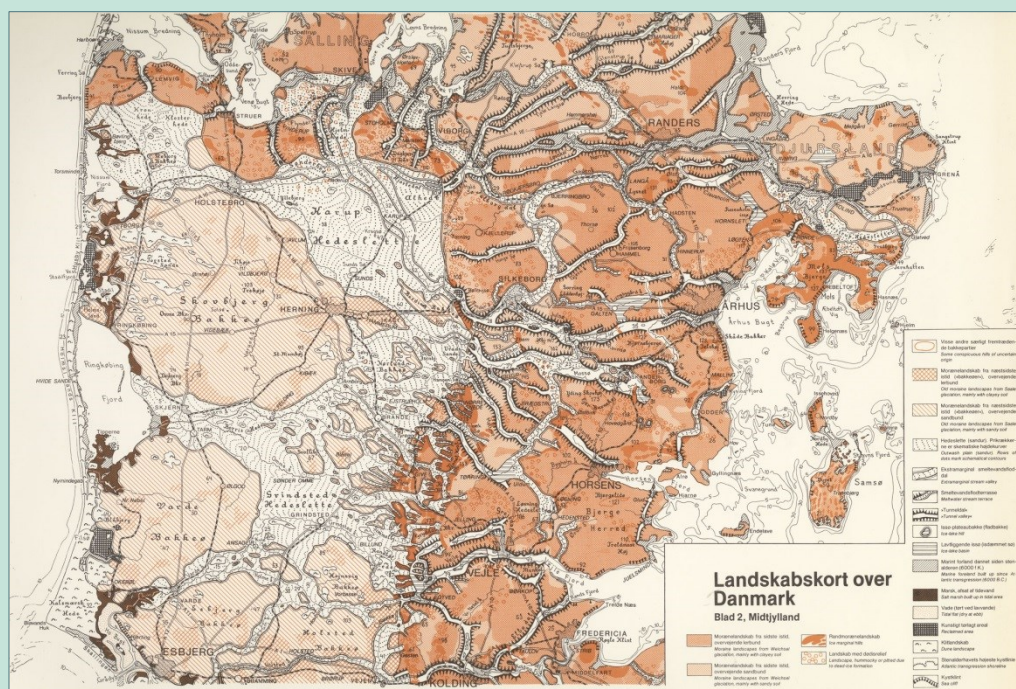
Klimaændringernes effekt på vandløbsafstrømning og grundvandsstand er i høj grad afhængig af den terrænnære geologi (EU 2011). I en overordnet screening anbefales det derfor at starte med at vurdere, om lokaliteten ligger i et område præget af sand eller ler.

- I områder med udbredte lerlag (typisk dræned) over grundvandsmagasinerne vil en stor andel af nedbøren afstrømme terrænnært, og i fremtiden vil der derfor kunne forventes en mindre stigning i grundvandsspejl og øgede ekstremvandføringer i vandløbene.
- I sandede områder vil jorden i højere grad være i stand til at optage den større mængde nedbør, og grundvandsspejlet kan øges signifikant. Der vil også her opleves øget vandløbsafstrømning, men af langt mere udjævnet karakter end i lerområderne, pga. den større interaktion med grundvandet.

Til screeningsmæssig vurdering af, om der er tale om ler- eller sandområder kan anvendes dels et kort over den kvartære geologi (Figur 2) eller geomorfologisk tolkede landskabskort (Figur 3), suppleret med konkrete oplysninger fra korte borer i området i GEUS' Jupiter-database.



FIGUR 2
KORT OVER OVERFLADENÆRE JORDARTER (GEUS 1989). KORTET BESKRIVER JORDARTERNE UNDER PLØJE- OG KULTURLAG, TYPISK I 1 METERS DYBDE.



FIGUR 3
EKSEMPEL PÅ TOLKET, GEOMORFOLOGISK LANDSKABSKORT (SMED 1981).

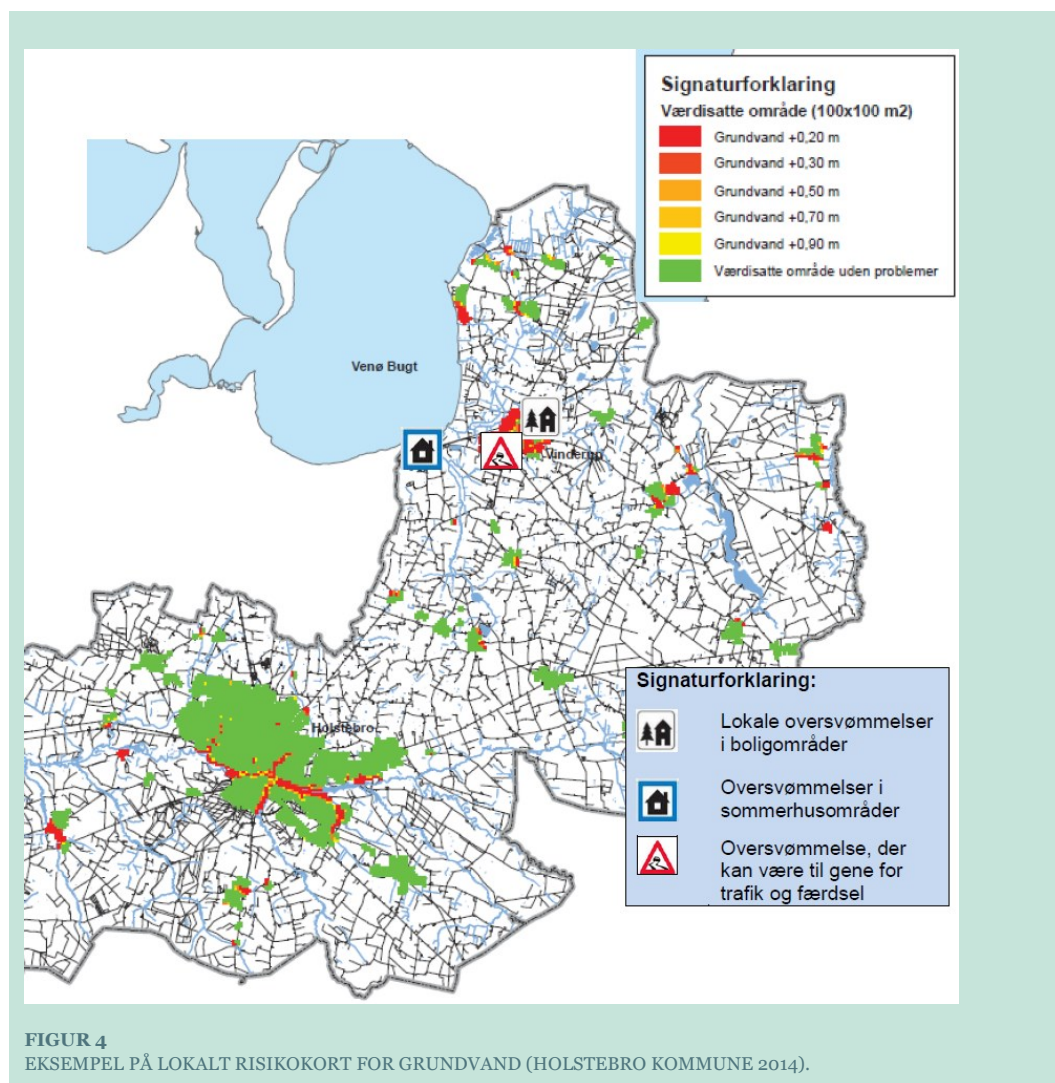
3.2 Grundvandskort

For de typologier, hvor grundvandsstanden er en betydende parameter (f.eks. i forhold til kortslutning i transportvejen mod receptoren), kan ændringen i grundvandsdannelse og grundvandsstand estimeres ud fra GEUS' klimagrundvandskort (KFT 2012), som også er at finde på Klimatilpasningsportalen (Naturstyrelsen 2014).

KFT (2012) har desuden udarbejdet kort over dybden til grundvandsspejlet i det førstkomende betydende magasin for den historiske referencesituation. Dette giver mulighed for vurdering af den fremtidige dybde til GVS, som estimeres ved dybden til GVS i referencesituationen + ændring i GVS i fremtidsscenariet.

GEUS pointerer, at grundvandskortene er et screeningsværktøj, der skal anvendes med omtanke ved at søge efter tendenser, i stedet for ensidigt fokus på beregnede ændringer for en enkelt pixel i kortet, samt at der i den foreliggende analyse ikke er lavet en analyse af de samlede usikkerheder på estimerterne. Formålet med kortene er at få et overblik over områder hvor der vil kunne ske væsentlige ændringer i grundvandsspejl og i grundvandsdannelsen (500x500 m grid) og som derfor bør undersøges nærmere (fx med mere detaljerede modeller).

Mange kommunale klimatilpasningsplaner indeholder mere detaljerede vurderinger af fremtidig grundvandsstand, hvor risikokortet er suppleret med lokale data i form af f.eks. pejlinger eller data fra grundvandskortlægningen, jf. Figur 4.

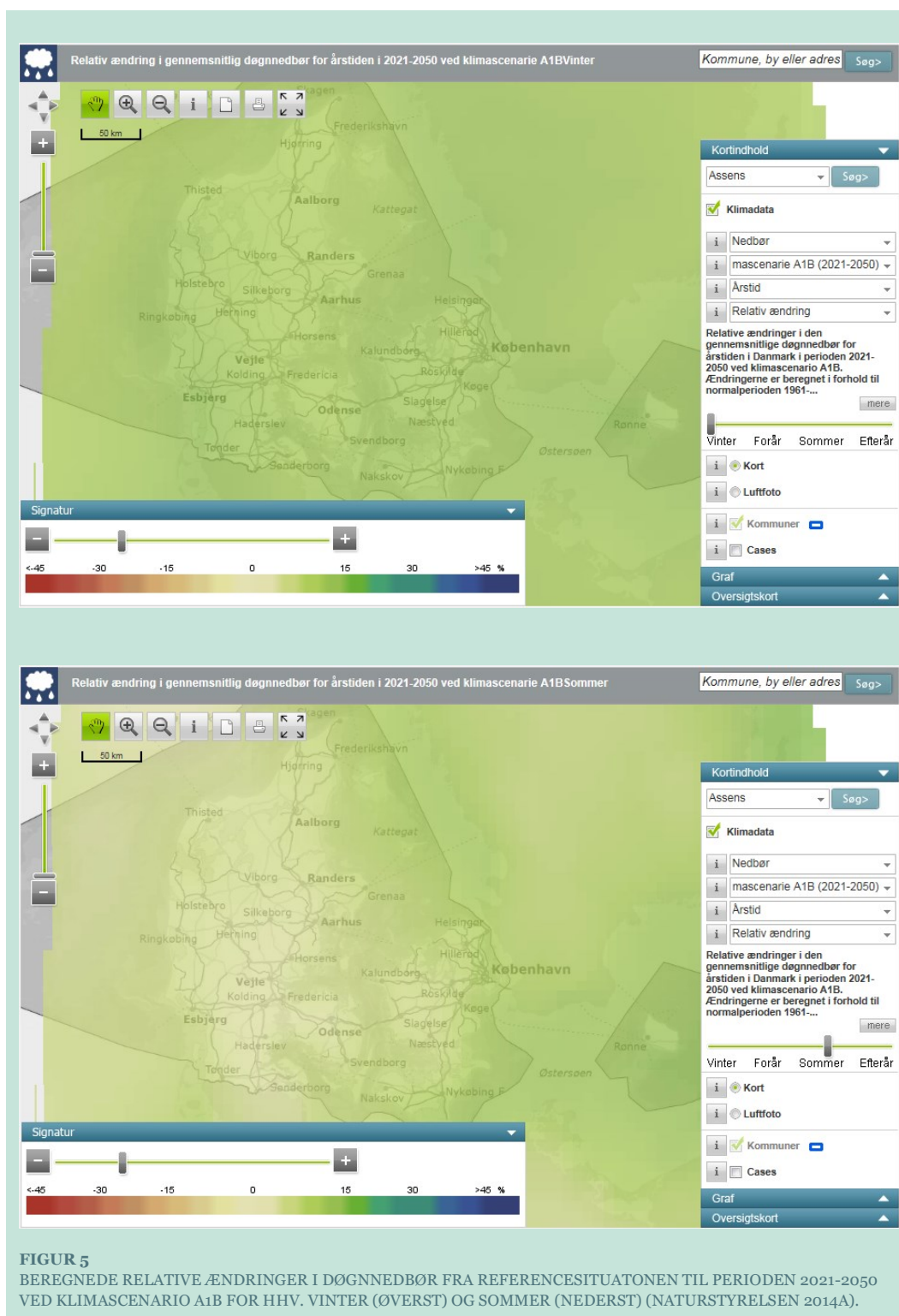


3.3 Nedbørskort

Figur 5 viser de prognosticerede ændringer i døgnnedbør i klimascenario A1B frem til 2050 for hhv. vinter og sommer. Som det ses, er der ikke tale om voldsomme ændringer i bruttonedbøren (ca. 3-12 %), men betydningen for udvaskning fra lossepladser til overfladevand kan være væsentligt større, da der i fremtiden i højere grad vil være tale om ekstremhændelser med større tendens til overfladeafstrømning, særligt i områder præget af ler i overfladen. Dette er dog noget, der bør kvantificeres nærmere, førend man tager stilling til evt. ændret risikobillede.

Ved fremstilling af kortene var formålene et andet end lokal skala risikovurdering, og de er derfor i sagens natur behæftede med væsentlige usikkerheder.

Ved vurdering af ændringer i udvaskning frem mod 2050 anbefales det derfor at lægge mindre vægt på den prognosticerede fremskrivning af middelnedbør, men nærmere at vurdere de lokale betingelser for afdræning af ekstremnedbør til grundvandet, jf. afsnit 3.1 **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet..**



3.4 Vandføringsdata

For de typologier, hvor afstrømningen i vandløbene er en betydende parameter, kan ændringen i ekstremvandføring eller medianminimum indledningsvist estimeres ud fra GEUS' kort over klimaekstremvandføring (Naturstyrelsen 2013a; Naturstyrelsen 2014c), som angiver klimafaktorer (jf. Boks 1) for ændringer i ekstremvandføring og medianminimumsvandføringer.

I lighed med klimagrundvandskortene pointerer GEUS, at disse kort skal anvendes med omtanke ved at søge efter tendenser, i stedet for ensidig fokus på beregnede ændringer for en enkelt

vandføringsstation. I fase 2 rapporten (Naturstyrelsen 2014c) er der lavet analyse af usikkerheder på ekstremværdi analysen samt på input fra 9 forskellige klimamodeller for Sjælland og Midtjylland. Et eksempel på et kort over klimafaktorer for vandføring er vist på Figur 1.

Mange kommunale klimatilpasningsplaner indeholder mere detaljerede vurderinger af fremtidig vandføring og vandstand i vandløbene, men det fremgår formentlig ikke altid, hvor stor ændringen er i forhold til referencesituationen, og grundlaget er ikke ensartet, så derfor må det anbefales at have GEUS' screeningsresultater med i betragtningerne, da de bygger på ensartede data og metodikker, og derfor kan bruges til krydstjek.

Typisk anvendes medianminimumsvandføring som dimensionerende nedre grænse for vandføring i forhold til beregning af koncentrationer af tilladte forureningsstoffer. Medianminimum er måledata, og tilmed ofte baseret på fx synkronmålinger, men indeholder også en række fejlkilder, som gør disse data usikre, bl.a. fordi mange datasæt er af ældre dato.

Ekstremværdianalyser er en mere avanceret processering af informationsindholdet i tidsseriedata fra enten modeller eller målestationer. Der er en række fejlkilder i såvel modeller som observerede data, og at data er modellerede kan derfor ikke ses som en begrænsning; tværtimod kan de give mulighed for en forbedret analyse af et givent problem. Begge typer datasæt er derfor vigtige for en nærmere vurdering af resulterende koncentrationer i et vandløb.

Det første datasæt man vil kigge på er formentlig medianminimum, da denne er et kendt datasæt i forvaltningen og derfor er relativt nemt at håndtere. For prognoser vedr. ekstremværdier kan som udgangspunkt anvendes resultaterne fra Naturstyrelsen (2013a).

Referenceværdier for medianminimumsvandføring kan findes via et landsdækkende GIS-lag, som er sat sammen i forbindelse med screeningsværktøjet for forurenings påvirkninger af overfladevand (Miljøstyrelsen 2014b).

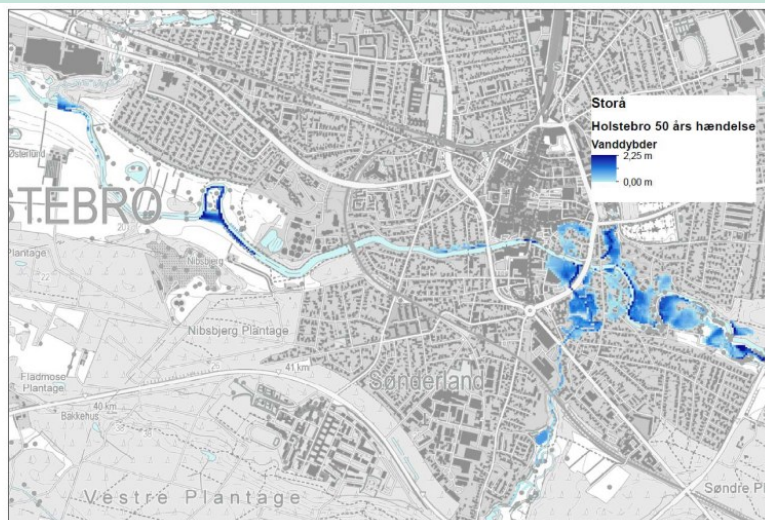
3.5 Oversvømmelseskort

Øget ekstremnedbør medfører øget risiko for oversvømmelser, samtidig med at øgede ekstremvandføringer giver større og bredere vandløb. Samlet kan dette give en risiko for øget erosion af lossepladsmateriale fra brinkerne i vandløbet. På klimatilpasningsportalen (Naturstyrelsen 2014a) findes kort med dels oversvømmelseshyppighed for vandløb samt såkaldte "blue spot" kort med forventede opfyldte lavninger som følge af ekstremnedbør. Lige som mange af de øvrige temaer, vil disse ofte være at finde i mere detaljeret form i kommunernes klimatilpasningsplaner.

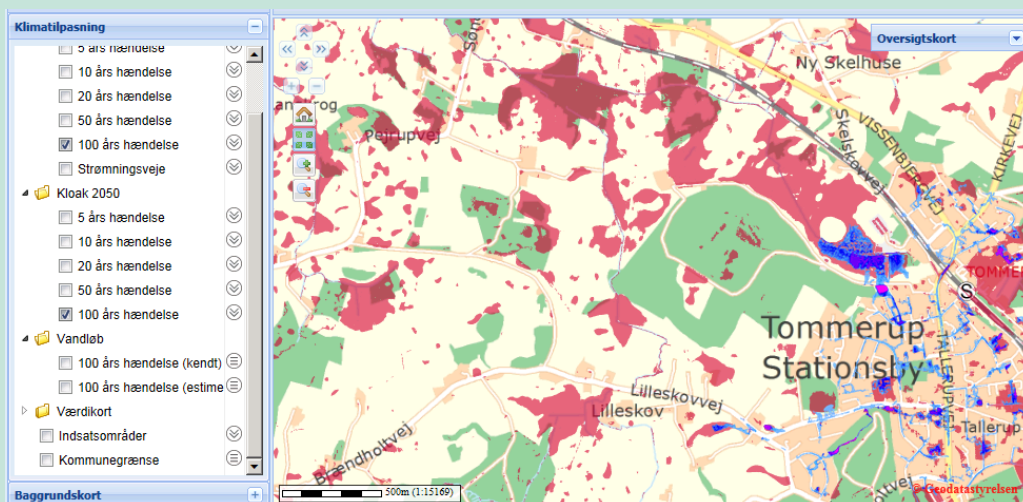
Nedenfor er vist eksempler på kort med prognosticerede oversvømmelseshyppigheder for dels vandløb og for ekstremnedbør.

Sådanne kort er særligt anvendelige i screeningen, hvis man også kender oversvømmelseshyppigheden i referencescenariet. Det er dog ikke standard at beregne referencescenariet for oversvømmelse fra vandløb i klimatilpasningsplanerne. Alternativt kan man få et indtryk af referencesituationen ved opslag i Hymer-databasen, som indeholder data over vandføringer og vandstande for de landsdækkende målestationer (Orbicon 2014).

Oversvømmelseskort for Storå / Vegen A gennem Holstebro by. Kortet viser udstrækningen af en oversvømmelser der statistisk set forekommer 1 gang per 50 år.



FIGUR 6
EKSEMPEL PÅ OVERSVØMMELSESKORT FOR STORÅ/VEGEN Å GENNEM HOLSTEBRO BY FOR EN 50 ÅRS HÆNDELSE (HOLSTEBRO KOMMUNE 2014).



FIGUR 7
EKSEMPEL PÅ OVERSVØMMEDE AREALER VED EKSTREME NEDBØRSHÆNDELSE (ASSENS KOMMUNE 2014). RØD MARKERING ER DEN RENT NEDBØRSBETINGEDE OVERSVØMMELSE (SÅKALDT BLUESPORT-KORT) VED EN 100 ÅRS REGNHÆNDELSE, MENS DET BLÅ OMRADE ER OVERSVØMMELSER PÅ TERRÆN I KLOAKEREDE OMRADER, HVOR OVERSVØMMELSEN ER AFHÆNGIG AF KLOAKERNES KAPACITET.

Eventuelle skrænter langs vandløbet kan være afgørende for, hvor stor erosionseffekt en given ekstremvandstand kan medføre – jo stejlere skrænt des større erosionsrisiko. Topografiske kort og terrænhædningskort kan hjælpe i denne forbindelse. Begge typer kort findes på Danmarks Miljøportal (2014), og derudover findes mere detaljerede kort i kommerciel distribution.

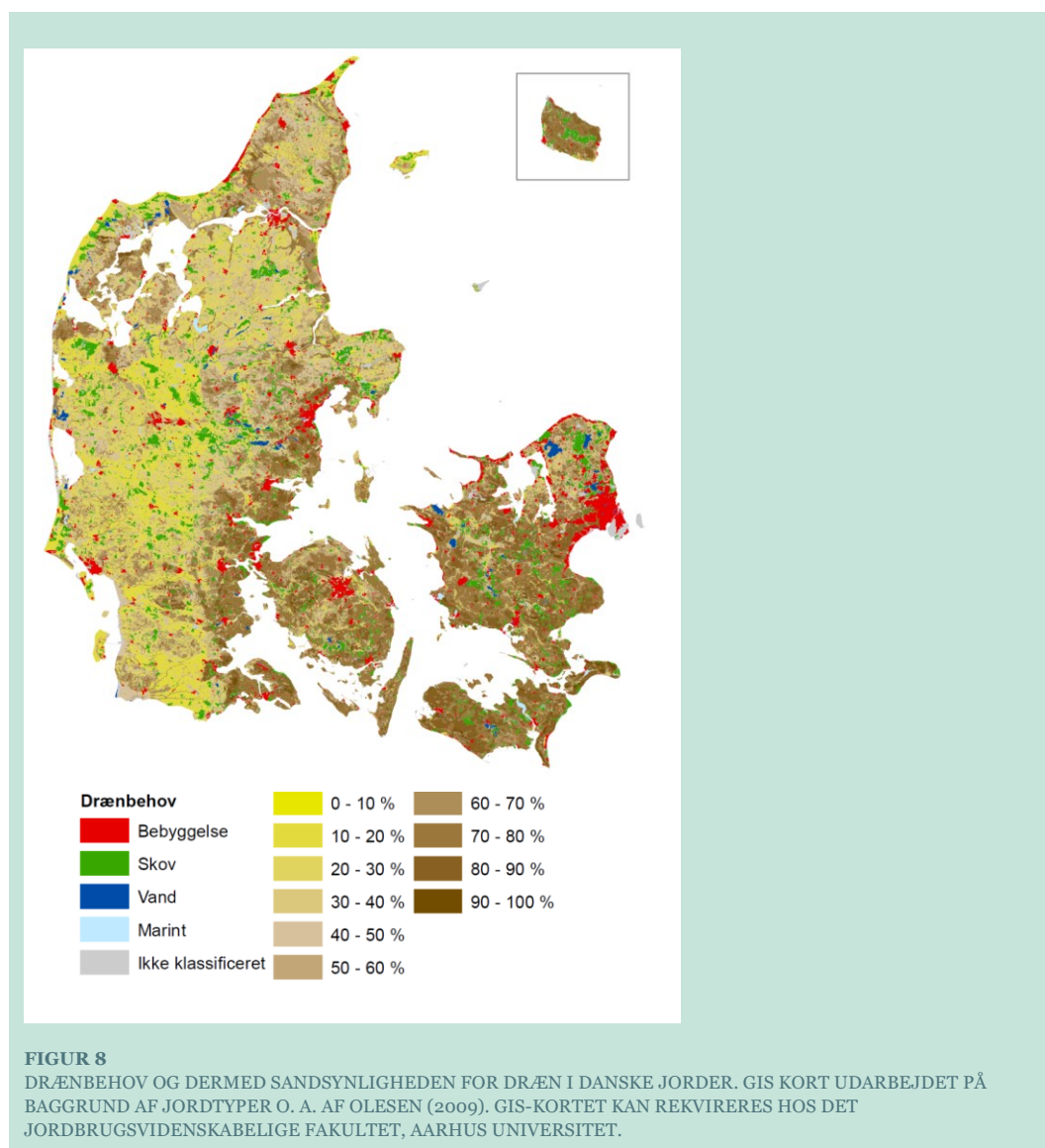
3.6 Drænkort

Udsivning fra gamle dræn til vandløb kan være betydende ved lossepladser anlagt på vandlidende jorder (typologi A, E og F). Betydningen heraf er nærmere beskrevet i Miljøstyrelsen (2014a) og beskrivelsen af datatilgængelighed fra den rapport er gengivet herunder.

3.6.1 Markdræn

Oplysninger om placering af markdræn er ikke indsamlet systematisk, og er derfor ofte gået tabt. Interview af lodsejer vedrørende forekomst af dræn kan give vigtige oplysninger. Desuden kan informationer om gamle markdræn i nogle tilfælde indhentes fra Orbicons drænarkiv. Drænarkivet indeholder op mod 30 % af det drænedede areal i Danmark (Olesen 2009). Drænkortene giver oplysninger om drænenes placering på marken og kote.

Inden en eventuel henvendelse til Drænarkivet kan det være en ide at konsultere det landsdækkende GIS-kort over det potentielle dræningsbehov (Olesen, 2009), jf. Figur 8. På baggrund af jordbundskort og oplysninger om terrænhældning er der udarbejdet et landsdækkende GIS-kort, der angiver det potentielle dræningsbehov. Dermed kan sandsynligheden for, at der under en given losseplads befinder sig gamle markdræn, afklares. Kortet er vist herunder og viser med al tydelighed, at sandsynligheden for dræn er størst i de lerede, østdanske jorder og mindst vest og syd for hovedopholdslinjen. Kortet over det potentielle dræningsbehov beskriver ikke drænbehovet udelukkende bestemt af højtstående grundvand og derfor kan dræningsbehovet være underestimeret i sandede jorde med højtstående grundvand (Olesen, 2009). En besigtigelse i vandløbet ved meget lav vandstand vil ofte kunne kortlægge dræn.



3.6.2 Perkolatdræn

Mange lossepladser er etableret med dræn dedikeret til lossepladsperkolatet.

- For lossepladser etableret eller udbygget efter miljøbeskyttelseslovens ikrafttræden i 1973 bør disse oplysninger være at finde i miljøgodkendelsen, som varetages af kommunerne (før kommunalreformen af amterne).
- For lossepladser etableret før 1973 er der formentlig væsentligt færre drænoplysninger, og eventuelle oplysninger med størst sandsynlighed kunne findes i regionens arkiv.

Kravene til lossepladsers indretning over tid er nærmere beskrevet i hovedrapportens kapitel 2 (Miljøstyrelsen 2014a).

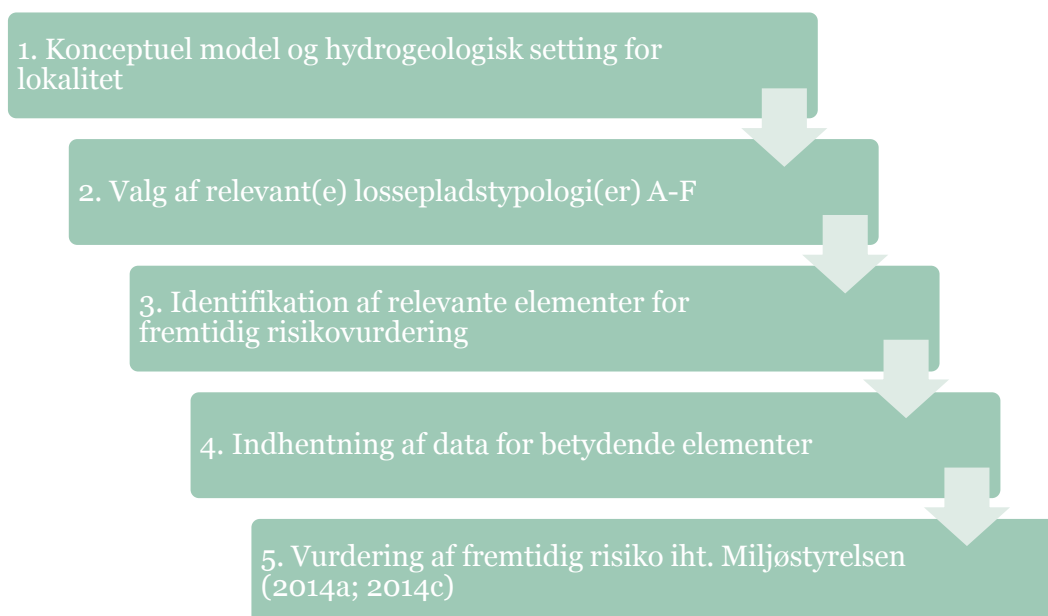
3.7 Lokale data

Ud over de generelle data vil en række lokale data for den enkelte losseplads være relevante, herunder:

- Undersøgel sesdata (lokal geologi, pejlinger, koncentrationer) fra regionens arkiv
- Opbygning af lossepladsen (afdækning, fyldtyper, dræning) fra miljøgodkendelsen (kommunen)
- Oplysninger fra lodsejer

4. Screening af klimaforandringerne indflydelse

Gennemgangen af betydende elementer og processer samt relevante metoder i de to foregående kapitler danner grundlag for en samlet oversigt over, hvordan en screening kan udføres i praksis. Det anbefales således at følge nedenstående proces i en vurdering af, om klimaforandringerne vil have betydning for den fremtidige risikovurdering af en losseplads.



1. Første trin er beskrivelse af en konceptuel model for den nuværende forureningssituation og den påviste eller forventede forureningsspredning fra lokaliteten. Elementer heri er beskrivelse af forureningskomponenter, koncentrationsniveauer i forskellige medier, vertikal og horisontal afgrænsning, beskrivelse af hydrogeologiske enheder, opbygning af fyldmaterialer og evt. dræn, grundvands- og gradientforhold samt forventet udveksling med overfladevand samt vandføring i vandløb. Den konceptuelle model bør som minimum indeholde en oversigtsplan og en snittegning.
For at få en ide om størrelsesordenen af den eventuelle risiko kan man på dette trin med fordel lave nogle håndberegninger af den resulterende koncentration i vandløbet (C) ud fra nuværende og overslagsmæssige fremtidige tal for vandløbets vandføring (Q) og forureningsfluxen fra lossepladsen (J) via udtrykket $C = J/Q$. Denne øvelse kan laves i Miljøstyrelsens screeningsværktøj for punktkildepåvirkning af overfladevand (Miljøstyrelsen 2014b)

2. Ud fra den konceptuelle model vælges hvilken lossepladstypologi, der er mest relevant for den pågældende plads (se oversigten i bilag 2). Hvis pladsen ligger på grænsen mellem to typologier, indsamles data for de betydende processer for begge typologier.
3. De relevante elementer og processer for den fremtidige risikovurdering identificeres ud fra Tabel 1 eller oversigten i Tabel 2 nedenfor.
4. I Tabel 2 nedenfor fremgår, hvilke data fra kapitel 3, der med fordel kan indhentes for at vurdere den fremtidige risiko.
5. Den fremtidige risiko for den enkelte lokalitet kan vurderes ud fra de metoder, der er beskrevet af Miljøstyrelsen (2014a; 2014c).

TABEL 2

OVERSIGT OVER BETYDENDE ELEMENTER FOR EN VURDERING AF KLIMAFORANDRINGERES PÅVIRKNING AF FORURENINGSSPREDNINGEN TIL OVERFLADEVAND FRA LOSSEPLADSER, ANGIVELSE AF HVILKE TYPOLOGIER DE ER VIGTIGE OVERFOR, SAMT HVILKE DATA, DER MED FORDEL KAN INDHENTES TIL VURDERINGEN.

Element/proces	Relevante typologier	Data						
		Geologiske kort	Grundvandskort	Nedbørskort	Vandføringsdata	Oversvømmelseskort	Drænkort	Lokale data
Ændret udvaskning	A B C D F	X		X				
Stigende grundvandsspejl	B C D E F	X	X	X				
Øget opfugtning af tørre lommer i affald	A B C D E F	X	X	X			X	X
Ændrede redoxforhold	A C D		X					X
Ændret slutreceptor	A B E		X					
Ændret afdræning	A D E F		X			X	X	
Ændrede strømningshastigheder i grundvandet	A C D		X					
Større overfladevandsafstrømning	A D E F	X	X	X	X			
Oversvømmelse af det forurenede areal	A B D F	X	X		X	X	X	
Bredere og større vandløb	D E				X	X		X
Øget erosion	E F				X	X		X
Ændret medianminimumsvandføring	A E F				X			
Ændrede temperaturforhold	Alle							
Menneskabte tiltag	Alle						X	X

5. Gennemgang af cases

I Miljøstyrelsen (2014a) blev to lossepladser anvendt som cases i forhold til at afprøve og vurdere undersøgelses- og risikovurderingsmetoder. Lossepladserne var udvalgt blandt mange lossepladser, og adskiller sig bl.a. i typologi, forskellig størrelse af det nærtliggende vandløb og geografisk placering. I nærværende notat, er de to cases anvendt til at vurdere hvilke af elementerne beskrevet i kapitel 2, der kan være betydende for de to lossepladser, og hvilke data (kapitel 3), de eksisterende risikovurderinger med fordel kan suppleres med, for at belyse aspekter vedr. klimaforandringer.

5.1 Introduktion af to cases

De to lossepladser er hhv. Lilleskovvej losseplads ved Tommerup Stationsby på Fyn og Mågevej losseplads ved Holstebro i Vestjylland. I bilag 4 og 5 i Miljøstyrelsen (2014a) er de to lossepladser beskrevet, inkluderende de undersøgelser, der er foretaget og resultaterne herfra. I Tabel 3 er vigtige parametre for de to lossepladser angivet.

TABEL 3. VIGTIGE PARAMETRE FOR DE TO CASE-LOSSEPLADSER.

	Lilleskovvej	Mågevej
Areal (m ²)	23.250	25.000
Geologi	Primært ler og tørv	Sand/silt m. vekslende lag af ler
Vandspejl i fyld (m)	0,5-1	0,5-1
Påvist forurening af terrænnært GV		
Perkolat	+	+
Specifikke organiske stoffer	+	-
Vandløb		
Afstand (m)	0-5	Ca. 20
Vandløb	Lille	Mellemstor
Vandføring (m ³ /s)	0,001-0,09 *	0,68-1,65 **

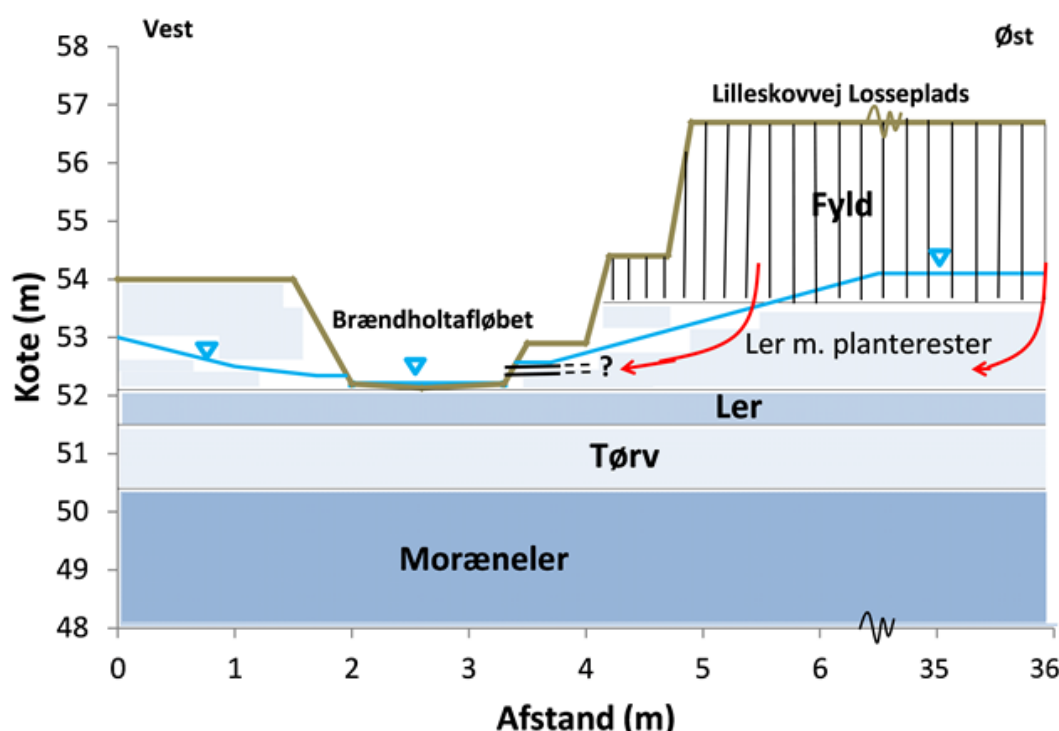
* Estimat af middelvandføringen ved st. 460124 i Brændholtafløbet ud fra st. 46.01 nedstrøms Brændholtafløbet i Brende Å, da der ikke var vandføringsdata fra Brændholtafløbet.

** Marts 2012 til juni 2013, ved den relativt nyopsatte målestation DDH mstnr.22.24 opstrøms lossepladsen.

5.2 Betydende elementer og data for Lilleskovvej losseplads

Lilleskovvej losseplads er beliggende i et lavtliggende tidligere vådområde. Området er en del af et dødislandskab præget af vekslende lag af morænerler og mere permeable aflejringer som sand og grus. Det terrænnære grundvand står 0,5-1 meter oppe i fyldet. Lossepladsen ligger lige ned til det lille vandløb Brændholtafløbet. Der er i forbindelse med besigtigelse af lossepladsen identificeret 3 dræn til vandløbet i området, hvoraf i hvert fald to ligger umiddelbart ud for lossepladsen.

I Figur 9 er den hydrogeologiske forståelsesmodel af lossepladsen vist. Det vurderes, at lossepladsperkolatet strømmer ned mod vandløbet, hvor det hovedsagligt via intern afstrømning fra brinken udsiver til åen over vandspejlet. De påviste koncentrationer i overfladevandet ved det ene dræn, indikerede også en spredningsvej via drænet. Der ser derimod ikke ud til at være nogen væsentlig transport via grundvandet på grund af de vandstandsende lag under lossepladsen. I forhold til typologierne beskrevet i kapitel 2, er det typologi F: engareal på moræneler, der beskriver forholdene bedst.



FIGUR 9. HYDROGEOLOGISK FORSTÅESEMDEL FOR LILLESKOVVEJ LOSSEPLADS (SE UDDYBNING I BILAG 5 (MILJØSTYRELSEN, 2014A)).

Påvirkningen af Brændholdtafløbet viste sig at være meget nedbørsafhængig – således viste målinger af den elektriske ledningsevne i to på hinanden følgende dage meget forskellige resultater. Det formodes, at forskellen skyldes, at vandløbet er meget nedbørsafhængigt. Når det regner meget stiger vandføringen, og dermed øges fortyndingen. Men hvis vandløbet tømmer sig hurtigere end den øgede vandmængde i lossepladsen, så vil der ske en forsinket udvaskning som kun kan fortyndes i en mindre vandføring.

Af elementerne beskrevet i kapitel 2, vurderes følgende at være vigtige for Lilleskovvej losseplads:

- Stigende grundvandsspejl
 - Der ses ingen hydraulisk kontakt mellem grundvandet og vandløbet på strækningen ud for Lilleskovvej losseplads på trods af, at potentialet i grundvandet står over vandløbskoten. Dette skyldes forekomsten af vandstandsende lag. Derfor vurderes det ikke, at en grundvandsstigning vil medføre en øget forureningstransport via grundvandet. En grundvandsstigning vil dog kunne have andre effekter (se de næste to punkter)
- Øget opfugtning af tørre lommer i affald
 - Da en vigtig spredningsvej er intern afstrømning i affaldet ud i vandløbet over vandspejlet, vil en stigning i grundvandsspejlet, der medfører øget opfugtning af

den tørre del af affaldet, betyde, at en større affaldsmængde "aktiviteres", og at forurening herfra kan strømme ud i vandløbet

- Ændret afdræning
 - I den nuværende situation er der tegn på, at mindst et af de 3 identificerede dræn er en spredningsvej fra lossepladsen til Brændholdtafløbet. Hvis grundvandet stiger, er der risiko for at flere af disse dræn kommer i spil.
- Større overfladevandsafstrømning
 - Lilleskovvej losseplads ligger direkte ned til Brændholdtafløbet. Det betyder, at der ved ekstremhændelser vil være en meget kraftig forøget risiko for direkte afstrømning til vandløbet.
- Bredere og større vandløb og øget erosion
 - Brændholdtafløbet er i dag et lille vandløb. Hvis der i perioder er kraftig forøget vandmængder i vandløbet, vil det kunne medføre øget erosion af brinken. Dette vil kunne resultere i direkte transport af affald og forureningsstoffer til vandløbet
- Ændret medianminimumsvandføring
 - Medianminimumsvandføringen i Brændholdtafløbet er allerede meget lav. Hvis der i fremtiden forekommer længere tørkeperioder, vil det kunne medføre at vandløbet tørrer ud i længere perioder eller kun har en meget begrænset vandføring. En reduceret vandføring vil betyde mindre fortynding af forureningsfluxen fra lossepladsen.

Til vurdering af ovenstående betydende elementer vurderes det relevant at indhente oplysninger om

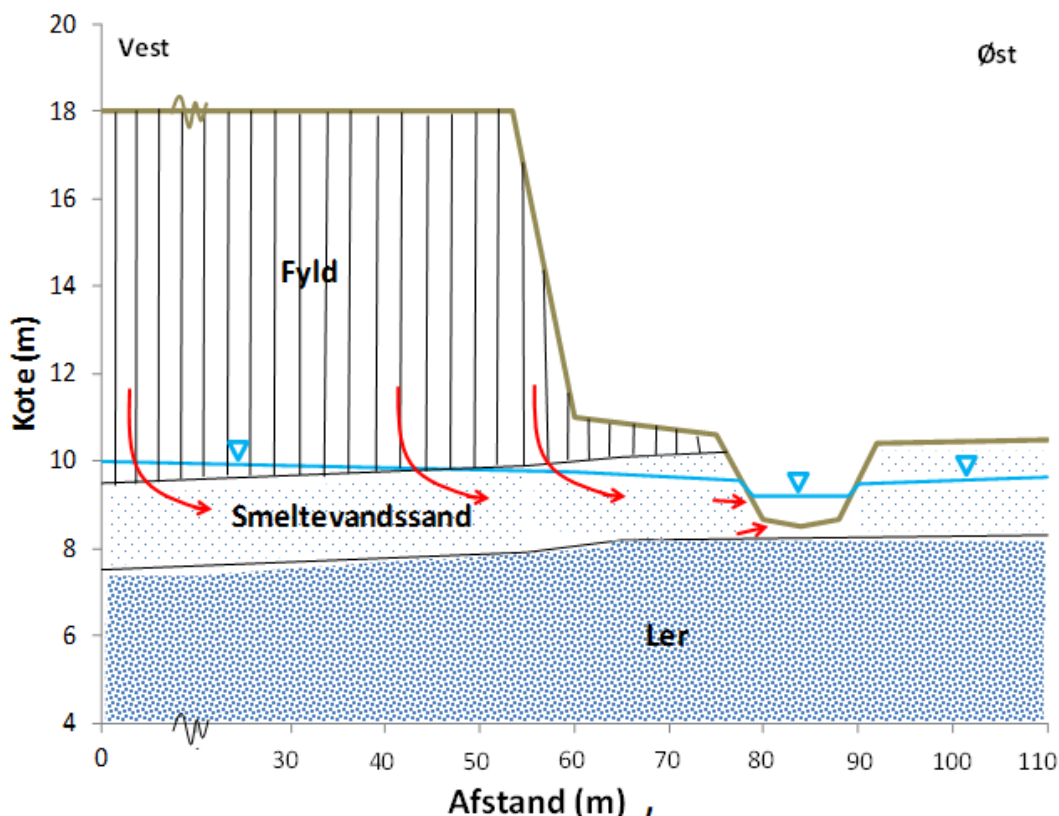
- De overordnede hydrogeologiske forhold, herunder om der er tale om en udpræget ler- eller sandlokalitet (afsnit 3.1).
- Lokale kort til forudsigelse af fremtidig grundvandsstand (afsnit 3.2)
- Lokale kort til forudsigelse af fremtidig vandføring og vandstand (afsnit 3.4 og 3.5)

Betydningen af drænsystemet kan også ændre sig i fremtiden, men drænene er formentlig allerede kortlagt så vidt det kan lade sig gøre ud fra de foreliggende data.

5.3 Betydende elementer og data for Mågevej losseplads

Mågevej losseplads er beliggende ovenpå terræn i et lavtliggende engområde. Den lokale geologi er præget af et meget varieret lagserie, hvor lagene hurtigt veksler mellem ler, silt og sand. Det terrænnære grundvand står 0,5-1 meter oppe i fyldet. Ca. 20 m fra lossepladsen løber Vegen Å, som er et mellemstort vandløb.

I Figur 10 er den hydrogeologiske forståelsesmodel af lossepladsen vist. Det vurderes, at lossepladssperkolatet strømmer i den nedre del af fyldet og i det tynde lag af smeltevandssandet under lossepladsen. Da potentialet her er højere end i vandløbet, strømmer det forurenede vand til vandløbet. Der blev identificeret 3 udsivningszoner fra grundvandet til vandløbet. Dog viste det sig, at udsivningen af det terrænnære grundvand med stor sandsynlighed hovedsagligt foregik fra selve brinken (under vandoverfladen) og ikke fra selve åbunden. Dette blev yderligere forstærket af et tykt og sammenhængende vandstandsende lerlag, som blev påvist ca. 2 m under selve lossepladsen og kun ca. 0,3 m under åbunden, som indsnævrede transporten af det terrænnære grundvand ned mod åen. Trods høje perkolatkoncentrationer i det terrænnære grundvand nær Vegen Å ud for Mågevej losseplads blev kun en mindre påvirkning påvist i Vegen Å, på grund af den store fortynding i åen som følge af den store vandføring. I forhold til typologierne beskrevet i kapitel 2, er det typologi E: engareal i et udsivningsområde, der beskriver forholdene bedst.



FIGUR 10. HYDROGEOLOGISK FORSTÅELESMODEL FOR MÅGEVEJ LOSSEPLADS (SE UDDYBNING I BILAG 4 (MILJØSTYRELSEN, 2014A).

Af elementerne beskrevet i kapitel 2, vurderes følgende at være vigtige for Mågevej losseplads:

- Stigende grundvandsspejl
 - Der blev identificeret tre indsivningszoner fra grundvandet til vandløbet, men det blev ikke vurderet at dette er den væsentligste spredningsvej i dag. Hvis grundvandet stiger, kan det ændre på trykgradienten (hvis ikke vandløbskoten stiger tilsvarende), og således kan der evt. opstå flere indsivningszoner. Hvis disse har sammenfald med zoner, hvor der sker perkolatudvaskning, vil forureningstransporten kunne øges betydeligt
- Øget opfugtning af tørre lommer i affald
 - Da en vigtig spredningsvej er intern afstrømning i affaldet ud i vandløbet, vil en stigning grundvandsspejlet, der medfører øget opfugtning af den tørre del af affaldet, betyde, at en større affaldsmængde "aktiviteres", og at forurening herfra kan strømme ud i vandløbet
- Større overfladevandsafstrømning
 - Mågevej losseplads ligger tæt på Vegen Å og over terræn. Det betyder, at der ved ekstremhændelser vil være en forøget risiko for direkte afstrømning til vandløbet.
- Bredere og større vandløb og øget erosion
 - Hvis der i perioder er kraftig forøgede vandmængder i vandløbet, vil det kunne medføre øget erosion af brinken, hvilket vil reducere afstanden mellem lossepladsen og vandløbet. Dette vil evt. kunne resultere i direkte transport af affald og forureningsstoffer til vandløbet, og øge risikoen for overfladevandsafstrømning (se ovenfor). Dog ville erosionen skulle grave sig 15-20 m ind i brinken, før dette ville ske.
- Ændret medianminimumsvandføring
 - I dag er medianminiumsvandføringen i Vegen Å så høj, at selvom der sker en udsivning af forurening til vandløbet, så reduceres koncentrationerne på grund af

fortynding betydeligt. Hvis der i fremtiden forekommer længere tørkeperioder, vil denne fortynding reduceres.

Til vurdering af ovenstående betydende elementer vurderes det relevant at indhente oplysninger om

- De overordnede hydrogeologiske forhold, herunder om der er tale om en udpræget ler- eller sandlokalitet (afsnit 3.1).
- Lokale kort til forudsigelse af fremtidig grundvandsstand (afsnit 3.2)
- Lokale kort til forudsigelse af fremtidig vandføring og vandstand (afsnit 3.4 og 3.5)

6. Perspektivering

Dette notat har fokuseret på problemstillingen vedr. mulige klimaeffekters påvirkning på risikovurdering af lossepladser påvirkning af vandløb. Klimaændringers påvirkning på jordforureningsområdet er dog en langt bredere problemstilling (Figur 11), som bl.a. er beskrevet af Region Sjælland (2013). Mange af de i dette notat beskrevne elementer og data vil sandsynligvis også kunne anvendes i disse sammenhænge. Ud over de konkrete opgaver som regionerne har, hvor klimapåvirkninger bør indtænkes, er der mange andre aktører, der agerer i forhold til fremtidige klimapåvirkninger (kommuner, Naturstyrelsen, forsyninger m.m.). Det arbejde, der udføres her vil også have en betydning for regionernes opgaver.

Jordforureninger	Aktivitet
Lossepladser	Undersøgelse
Renserier o.lign.	Risikovurdering
Gasværker	Afværge
Tankanlæg	
m.m.	

Receptorer	
Indeklima	
Arealanvendelse	
Grundvand	
Overfladevand	Vandløb
	Søer
	Kystvande

FIGUR 11. REGIONERNES OPGAVER, DER KAN BLIVE PÅVIRKET AF KLIMAFORANDRINGER, HVOR FOKUS I DETTE NOTAT ER MARKERET MED FED.

6.1 Jordforureninger

På andre typer jordforureninger end lossepladser kan der være andre betydende stoffer, og selve geometrien af forureningen kan være meget anderledes. Således vil fx forekomst af fri fase kunne blive påvirket markant af grundvandsstigninger/fluktuationer, hvor en forøget forureningsspredning og et nyt risikobillede kan blive konsekvensen. Mens lossepladser ofte ligger i det åbne land, vil fx renserier oftest være beliggende i bymidter, hvor sandsynligheden for mange menneskabte tiltag for at håndtere klimaforandringer er stor.

6.2 Aktiviteter

En typisk jordforureningssag vil i regionernes sagsflow indgå i aktivitetskæden indsamling af historiske oplysninger og kortlægning - undersøgelse - risikovurdering – afværge og eventuel drift af afværge (såfremt der påvises en risiko). Mens dette notat har fokuseret på konsekvenserne i relation til risikovurdering, kan klimaforandringerne også have konsekvens i forhold til afværgetiltag. Dels i forhold til allerede igangværende afværger, men også i planlægningen af fremtidige robuste afværger. Den mest oplagte problemstilling er nok indeklimasikring med ventilationsløsninger. Her vil stigning i grundvandsstanden kunne have alvorlige konsekvenser. Men også mange afværgepumpninger vil blive påvirket af en ny hydrogeologisk balance, ændret indvindingsstruktur m.m.

6.3 Receptorer

Jordforureninger skal risikovurderes over for en række receptorer. En indledende vurdering af klimaeffekters betydning for indeklima, foretaget af Region Midtjylland og Niras, konkluderer, at mens der ikke forudses de store konsekvenser for undersøgelse og risikovurdering, så kan der som før nævnt i forbindelse med forekomst af fri fase eller planlægning af afværge være betydelige konsekvenser (Videncenter for Jordforurening, 2012). Flere projekter har belyst konsekvenserne for grundvand, se uddybning heraf i bilag 1. For andre overfladevandstyper end vandløb, vil der være elementer, der ikke er diskuteret i nærværende notat, der kan være meget væsentlige. Fx vil havstigninger eller kraftigere vindstuvningseffekter, som set i 2013 med stormen Bodil, betyde meget for kystnære lokaliteter.

Der vil sandsynligvis være meget stor forskel på, hvilken betydning klimaforandringer vil have på regionens forskellige opgaver. Mens det på nogle sager kan have altafgørende betydning af indtænke klimaforandringer i risikovurdering og planlægning af afværge, kan effekten være minimal på andre sager. Som nævnt i anbefalingen til screeningsproces (kapitel 4) kan Miljøstyrelsens værktøj til screening af punktkilders påvirkning af overfladevand (Miljøstyrelsen 2014b) anvendes til at afprøve effekterne af ændrede forureningspåvirkninger og vandføringer.

Der kan også være et behov for et screeningsværktøj, som mere målrettet kan give overblik over hvilke sager, hvor klimaforandringer kan have afgørende betydning for risikovurderingen, således at problematikken kan finde sit rette leje i regionernes sagsflow. Hovedtanken er at kombinere viden om de kortlagte grunde (herunder forureningsstoffer og risiko) med de mange forskellige klimakort der allerede findes. Ideen til et sådant screeningsværktøj er fremkommet som en ide på workshoppen og er arbejdet videre med af projektgruppen.

Referencer

Udbyttet af workshoppen er suppleret med et review af relevant litteratur anvist af workshoppens deltagere. Al den gennemgåede litteratur optræder på referencelisten, som derfor indeholder flere referencer, end der direkte er refereret til i teksten.

Assens Kommune, 2014. Handleplan for klimatilpasning.
<http://planer.dkplan.niras.dk/dkplan/dkplan.aspx?planid=2>

Bjerg, P.L. & Kjeldsen, P. (2010): Grindsted gamle losseplads – en sammenfatning af DTU's forskningsresultater. Institut for Vand og Miljøteknologi, Danmarks Tekniske Universitet & Regi-on Syddanmark, Kgs. Lyngby.

Ejlsvkov, P., Poul L. Bjerg og Peter Kjeldsen, 1998. Grundvandsundersøgelser ved fyld- og lossepladser, VJ, Teknik og Administration, nr. 3, 1998

EU, 2011. Groundwater in a future climate. The CLIWAT Handbook. The CLIWAT project group, finansieret af EU Interreg IVB North Sea Region Programme. www.cliwat.eu.

Dahl, M. B. Nilsson, J.H. Langhoff, J.C. Refsgaard (2007): Review of classification systems and new multi-scale typology of groundwater-surface water interaction. Journal of Hydrology 344, 1-16.

Danmarks Miljøportal, 2014. Arealinformation.
<http://arealinformation.miljoeportal.dk/distribution/>

Danmarks Miljøundersøgelser, 2009. Vandløb 2007. NOVANA. Faglig rapport fra DMU nr. 771, 2009

GEUS, 1989. Kort over overfladenære jordarter 1:200.000. <http://www.geus.dk/DK/data-maps/Sider/j200-dk.aspx>

Holstebro Kommune, 2014. Klimatilpasningsplan for Holstebro Kommune 2014.

IPCC, 2014. Climate Change 2014. <http://www.ipcc.ch>

KFT (Koordineringsenhed for forskning i klimatilpasning), 2012. Klimaeffekter på hydrologi og grundvand – Klimagrundvandskort. Hans Jørgen Henriksen, Anker Lajer Højberg, Martin Olsen, Lauren P. Seaby, Peter van der Keur, Simon Stisen, Lars Troldborg, Torben O. Sonnenborg og Jens Christian Refsgaard, GEUS

Kjeldsen, Peter (1991): Lossepladsrapport P3: Undersøgelser ved Vejen Losseplads.

Kjeldsen, P; Barlaz, MA; Rooker, AP; Baun, A; Ledin, A; Christensen, TH, 2002. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A review. In CRITICAL REVIEWS IN ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, Volume 32, Issue 4, Pages: 297-336. DOI: 10.1080/10643380290813462

Kristensen, Esben Astrup, Brian Kronvang, Hans Thodsen og Jes Rasmussen, 2009. Små og sårbare – livet i mindre vandløb i et fremtidigt klima. Vand & Jord, 16. årgang nr. 4, november 2009.

Miljøministeriet, 1996. Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen, Nr. 20. Peter Kjeldsen og Thomas Christensen.

Miljøstyrelsen, 2004. Videreudvikling af ådalstypologi - Grundvand- Overfladevand Interaktion (GOI). M. Dahl m.fl. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 16, 2004

Miljøstyrelsen, 2014a. Risikovurdering af lossepladsers påvirkning af overfladevand. Endnu ikke publiceret miljøprojekt. Region Syddanmark, Region Midtjylland og Orbicon.

Miljøstyrelsen, 2014b. Jordforureningers påvirkning af overfladevand, delprojekt 6. Systematisering af data og udvælgelse af overfladevandstruende jordforureninger. Miljøprojekt nr. 1573, 2014. Orbicon.

Miljøstyrelsen, 2014c. Risikovurdering af overfladevand, som er påvirket af punktkildeforurenet grundvand. Miljøprojekt nr. 1575. Orbicon og DTU Miljø

Naturstyrelsen, 2013a. Klimaeffekter på hydrologi og grundvand (Klimaekstremvandføring). Hans Jørgen Henriksen, Martin Olsen og Lars Trolborg, GEUS

Naturstyrelsen, 2013b. Klimatilpasningsplaner og klimalokalplaner. Vejledning. Naturstyrelsen og COWI

Naturstyrelsen, 2013c. KIMONO - Koncept for integreret vurdering og styring af risikoen for klimagenererede grundvandsoversvømmelser af punktkilde forureninger i kystzonen. GEUS, Region Midtjylland og VIA UC.

Naturstyrelsen, 2014a. Klimatilpasningsportalen. <http://www.klimatilpasning.dk>

Naturstyrelsen, 2014b. Klimarobuste virkemidler i vandplanerne. Teknisk rapport. Orbicon

Naturstyrelsen, 2014c. Klimaeffekter på ekstremværdiafstrømninger – Fase 2 usikkerhedsvurdering. Hans Jørgen Henriksen, Bo Pang, Martin Olsen Torben Sonnenborg, Jens Christian Refsgaard, GEUS og Henrik Madsen, DHI Group.

Olesen, S. E. 2009. Kortlægning af potentielt dræningsbehov på landbrugsarealer opdelt efter landskabselement, geologi, jordklasse, geologisk region samt høj/lavbund. DJF Husdyrbrug nr. 21. Intern rapport. Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, 2009.

Orbicon, 2014. Hymer-databasen. <http://www.orbicon.dk/Data-om-vand/C3%B8b.3323.aspx>. Hjemmesiden indeholder et link til en KMZ-fil til Google Earth med Hymer-data: <http://www.orbitalen.dk/ref.aspx?id=4447>

Region Midtjylland, 2011. Velvej Losseplads. Lokal model for stoftransport i umættet zone og grundvand (lok.nr. 767-00009), Niras.

Region Midtjylland, 2012. Eskelund Losseplads. Klimapåvirkning, modelopsætning, kalibrering og scenarieberegninger med Hydrogeosphere. Delrapportering fra CLIWAT projektet. Alectia

Region Midtjylland, 2013. Skabelon til klimatilpasningsplan. Region Midtjylland og COWI.
[http://www.rm.dk/regional+udvikling/den+regionale+udviklingsplan/projekt+klimatilpasning/skabelon+for+klimatilpasningsbehandlingsplaner? /](http://www.rm.dk/regional+udvikling/den+regionale+udviklingsplan/projekt+klimatilpasning/skabelon+for+klimatilpasningsbehandlingsplaner?/)

Region Sjælland, 2013. Klimaændringers indvirkninger på jordforureningsopgaverne i Miljø & Ressourcer.

Region Syddanmark, 2011. Hørlokke – CLIWAT model. Alectia.

Smed, Per, 1981. Landskabskort over Danmark, Geografforlaget.

Thomsen, Nanna Isbak; Milosevic, Nemanja; Bjerg, Poul L. (2012). Application of a mass balance method at an old landfill to assess the impact on surrounding water resources. Waste Management, 32, 2406-2417.

Tuxen, N., Ejlskov, P., Albrechtsen, H.-J., Reitzel, L. A., Pedersen, J. K., and Bjerg, P. L. (2003) Application of natural attenuation to ground water contaminated by phenoxy acid herbicides at an old landfill (Sjølund, Denmark). Groundwater Monitoring and Remediation, 23, (4), 48-58.

Videncenter for Jordforurening, www.jordforurening.info nr. 1 i 2012 – ”Klimaændringers konsekvenser for forureningsspredning og –afdampning på forurenede grunde” af Niels Lauge Sørensen, Jesper Alrø Steen og Søren Rygaard Lenschow, Niras og Per Egede Jensen og Karsten Munch Andersen, Region Midtjylland.

Bilag 1: Erfaringsopsamling om klimaforandrings påvirkning af forureningsspredning fra lossepladser

Af Rolf Johnsen, Region Midtjylland

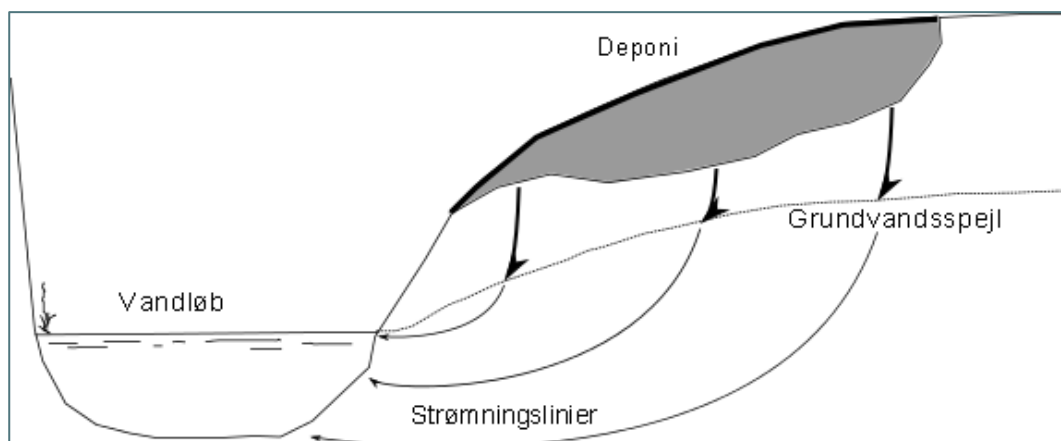
Indledning

Dette notat er en opsamling på modelstudier af klimaforandringerne effekt på forureningsspredning fra lossepladser. Dette med udgangspunkt i undersøgelser og analyser foretaget i CLIWAT projektet, støttet af InterReg IVB NSR programmet, samt modelstudier i Region Midtjylland. Notatet er suppleret med relevant litteratur til beskrivelse af kemiske stoffers opførsel i jord og grundvand.

Der er i notatet fokuseret på klimaforandringerne effekt på vandkredsløbet og hermed hvordan det hydrologiske system, som det enkelte deponi er en del af, er påvirket af klimaforandringer og ekstreme klimaforhold.

Hydrologi

Generelt skal transport af opløste stoffer ses som en spredning i tre dimensioner, hvor hydrologiske (infiltration, vandløb, søer og hav) og hydrogeologiske forhold styrer stoffernes udbredelse og spredning/4/.



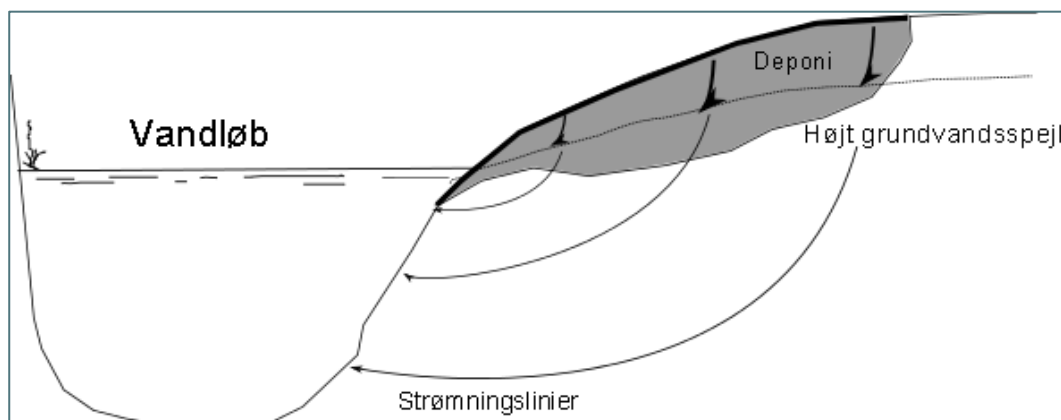
FIGUR 1: SKEMATISK OVERSICHT OVER EN FORURENINGS TRANSPORTVEJ FRA ET DEPOT Gennem DE GEOLOGISKE LAG TIL GRUNDVANDET OG HERFRA VIDERE TIL VANDLØBET. EFTER /4/

Hvis man ser på en fyldplads deponeret i nærheden af et vandløb, som skitseret i figur 1, sker der i første omgang en udvaskning fra pladsen. Denne udvaskning sker bl.a. som resultat af nedbør som falder på overfladen på pladsen. Nedbøren opløser dele af forureningen og det lettere forurenede vand transporteres som perkolat videre ned til grundvandsspejlet igennem den umættede zone. I grundvandssystemet sker en mere horisontal strømning imod vandløbet, som dermed modtager perkolatet fra deponiet. Undervejs er perkolatet blevet fortyndet pga. af tilførsel af vand fra andre dele af grundvandssystemet. Yderligere er sket en dispersion og adsorption.

Klimaforandringerne giver ændrede hydrologiske forudsætninger. Det forventes således at sommere bliver tørre og vintrene vådere. Yderligere vil sommerregnen falde med større intensitet, som kan lede til større udsving i vandføringer i vandløbene. De ændrede nedbørsforhold giver desuden forøget nettonedbør som leder til en større grundvandsdannelse.

Yderligere vil begivenheder hvor betydelige mængder regn tilføres vandløbet betyde at overfladevandskoten på vandløbet stiger og i vise tilfælde vil niveauet for vandløbet overstige

bundkoten for nærtliggende deponier. I dette tilfælde er transportvejen fra deponiet til vandløbet væsentligt forkortet og der sker derfor en mindre fortynding af perkolatet fra pladsen inden det strømmer ud i vandløbet. På figur 2 er vist en situation hvor et højere vandspejl i vandløbet og grundvandet ved et deponi bevirker en kortere transportvej fra deponiet til vandløbet.



FIGUR 2: OVERSICHT OVER EN FORURENINGS TRANSPORTVEJ FRA ET DEPOT IMOD VANDLØBET VED HØJ VANDSTAND I VANDLØBET.

Det bevirker at vandet der er i kontakt med forureningen har en kortere opholdsstid og derfor mindre tid til at naturlig nedbrydning kan ske.

Hydrogeologiske forhold

Ved større og mindre mængder regn vil udvaskningen fra et deponi påvirkes, som følge af de ændrede mængder vand der transporteres gennem deponiet. Udvaskningen afhænger, ud over de hydrologiske forhold, også af de hydrogeologiske forhold ved og omkring deponiet. Således er de geologiske aflejringer, der er etableret ved deponiet en vigtig faktor for afstrømningen fra deponiet. Sedimenternes porøsitet og hydrauliske ledningsevne afgør vandvolumet som passerer igennem formationen. Samtidig vil eventuelle drænkonstruktioner "kortslutte" vandledningen i det givne område.

Et deponi med et "utæt" topdække vil således medføre en større transport af vand igennem deponiet end en plads med tæt topdække. Yderligere vil en leret geologi omkring depotet medføre en mindre transport fra deponiet ud i vandløbet eller fanen. Responsen på klimaforandringerne afhænger derfor af de ændringer der sker i nedbøren, men lige såvel af den geologiske opbygning og konstruktionen i og omkring deponiet. Yderligere vil lokale strømningsforhold, som følge af kontakt til nærliggende vandløb også have en effekt på fanens udbredelse og flukspåvirkning i nutidigt og fremtidigt klima. I det følgende er givet nogle eksempler på hvordan klimaforandringer påvirker deponier med forskellige karakteristika.

Eskelund

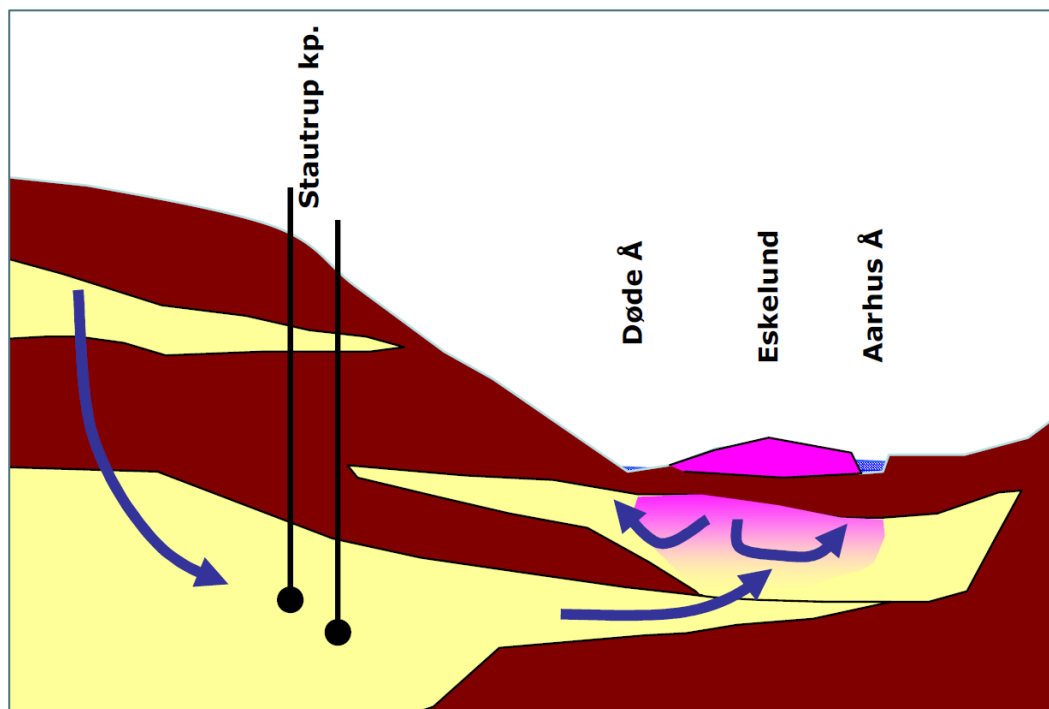
Beskrivelse af lossepladsen:

Eskelund lossepladsområde består af fire deponier. Deponierne var aktive i perioden 1950 til 1981, og udgør en potentiel trussel imod drikkevandsressourcen i brabranddalen og det generelle vandmiljø i og omkring Aarhus å. Fyldet er deponeret umiddelbart op ad Aarhus å. Der er opstillet en geologisk model i et 34 km² modelområde. Modellen har størst opløsning omkring deponierne, hvor der også findes den største datamængde. Den geologiske model er anvendt som grundlag for opstilling af en grundvandsmodel til beskrivelse af strømninger i området omkring deponierne. Der er anvendt HGS (Hydrogeosphere) i modelopsætningen, da denne kan håndtere de processer som indgår i grundvands- og overfladevandstrømning, umættet zone og stoftransport. /1/

Grundvandspåvirkning ved ændret klima:

Der er foretaget scenarieberegninger til år 2100 med modellen på tre forskellige klimascenarier (aktuelt, A2 og B2), samt 2 indvindingsscenarier (aktuelle og tilladte forhold). B2 giver en større nettonedbør end A2, som igen giver en større nettonedbør ift. aktuelt klima.

Transportberegninger fra år 1980 til år 2100 viser at der ikke sker nogen stor udvikling i udbredelsen af fanen i grundvandet med tiden. Dette skyldes de regionale hydrogeologiske strømningsforhold, hvor vand fra oplandet strømmer mod naturlige overfladenære dræningsområder i Aarhus ådal.



FIGUR 3: SKITSE OVER STRØMNINGEN VED ESKELUND LOSSEPLADS. /1/

Forureningen under lossepladsområdet er stort set begrænset til et øvre sandmagasin, mens det nedre sandmagasin holdes fri for forurening på grund af grundvandsstrømning i et mere overfladenært system. Figur 3 viser en skitse over hvorledes dette vand tænkes strømme.

Der er kun minimal forskel på klimascenarierne. Indvindingsscenarierne viser at jo større indvindingen ved Stautrup kildeplads er, jo større udbredelse får forureningen. Yderligere er der en tendens til at forureningen rykker mod kildepladsområdet.

Dermed viser modelberegningerne at en stor indvinding har en tendens til at kunne trække perkolatvand ud i det nedre magasin. En reduktion i indvindingen vil da betyde at udbredelsen af perkolatvand reduceres på grund af vandstrømning i det større hydrologiske grundvandssystem.

Overfladevandspåvirkning ved ændret klima:

Der er foretaget beregninger af transport fra Eskelund Losseplads imod Aarhus å i en referencesituation, en situation med høj vandstand fra Århus havn i nutid og fremtid, samt under oversvømmelse:

- Reference
- S1: Vandstuvning i havet på 1,7 m.
- S2 Vandstuvning på 2,55 m (1,7 + 0,75)
- S3 Ekstrem nedbør (60 mm/pr dag i tre dage) + 2,55m vandspejl og en firdobling af vandføringen i Aarhus å

I tabel 1 ses transportberegninger fra modellen. Beregningerne viser generelt at jo højere vandstand, der er over Eskelund Losseplads, jo større er udvaskningen af perkolat fra losseplads til Århus å.

TABEL 1: TRANSPORT AF STOF FRA ESKELUND TIL AARHUS Å.

Scenarie	Transport over 4 dage (summeret kg)
Reference	13,5
S1	19,8
S2	28,1
S3	262,8

Denne transport forøges yderligere i fremtidsscenariet, hvor vandstanden i havet er forøget med 75 cm. Den høje vandstand i havet forhindrer vandet i at strømme ud, og ved meget høj vandstand vendes strømmingen. Når strømmingen vendes kan den samme vandvolumen modtage perkolatvand fra Eskelund flere gange og herved forøges koncentrationen i vandet i åen.

I den ekstreme situation (S3) forøges transporten af forurening (massefluksen) fra lossepladsen imod Aarhus å med mere end 19 gange. Den meget store forøgelse skyldes at store dele af lossepladsen er under vand og der derfor er en meget kort transportvej fra pladsen imod vandløbet, samtidig med at store vandmængder flyttes fra deponiet imod vandløbet.

Resultatet af undersøgelsen er derfor at der ikke er en større risiko for grundvandsressourcen ved et ændret klima, mens tilførslen af forurening imod Aarhus å øges.

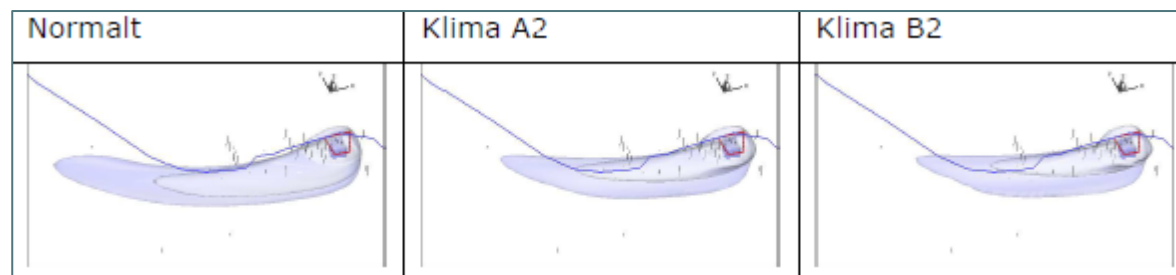
Hørløkke

Beskrivelse af lossepladsen:

Hørløkke losseplads består af 65000m³ affald deponeret på det oprindelige terræn fra 1968-1972. Lossepladsen er beliggende i et område med særlige drikkevandsinteresser og der er konstateret forurening med chlorerede opløsningsmidler ned til 50 meter under terræn. Der er opstillet en geologisk model, som baggrund for opstilling af en grundvandsmodel i HGS /2/. Umiddelbart nedstrøms lossepladsen findes Billund bæk.

Grundvandspåvirkning og overfladevandspåvirkning ved ændret klima:

Der er foretaget scenarieberegninger til år 2100 med modellen på tre forskellige klimascenarier (aktuelt, A2 og B2).



FIGUR 4: FORURENING MED KLORID SOM TRACER EFTER 90 ÅR VED TRE KLIMASCENARIER. /2/

På figur 4 ses modelberegningerne for forureningsfanen ved forskellige klimascenarier.

Beregningerne viser at forureningsfanen når sin maximale udbredelse i grundvandssystemet ved et normalt klima. Ved klimascenarierne A2 og B2 er forureningsfanerne markant kortere. Dette skyldes at grundvandspotentialet ved et ændret klima vil stige. Det ændrede potentiale resulterer i at grundvandssystemet kommer i kontakt med den nærliggende Billund bæk. Ved den ændrede

kontakt vil vandet fra lossepladsen dræne af til bækken og dermed ikke videre ud i grundvandssystemet. Således viser modellen at der sker en ændring i strømningsmønstret så den nærliggende bæk vil modtage det overskydende vand. Grundvandsrisikoen mindskes derfor ved et ændret klima, og risikoen imod bækken øges.

Vellev Losseplads

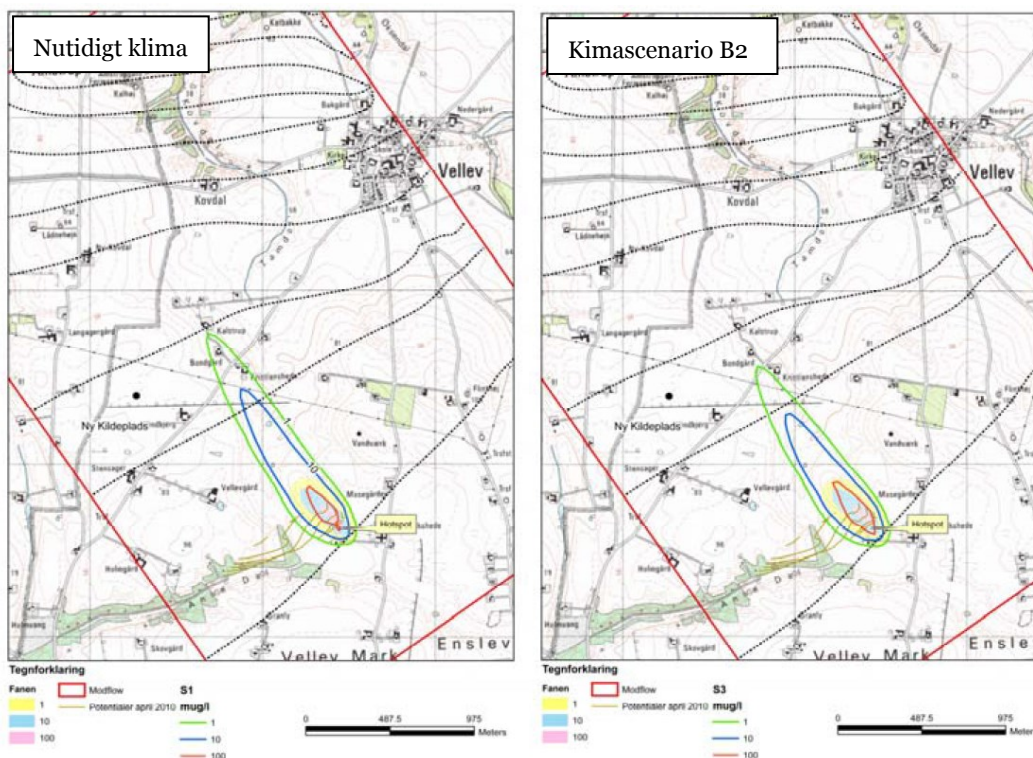
Beskrivelse af lossepladsen:

Der er i 2010 gennemført en analyse af påvirkningen af udbredelsen af en PCE forurening stammende fra en deponering af tromler på en nedlagt losseplads ved Vellev i Midtjylland.

Analysen er foretaget ved opstilling af en geologisk model, kildestyrkemodel, samt grundvandsmodel. Kildestyrkemodellen er foretaget i Modflow-Surfact, version 3.0 og inkluderer strømning og transport i umættet zone. Grundvandsmodellen er opstillet i Modflow Version 2000 og MT3D /3/.

Der er udført scenarier af forureningsspredning med og uden klimaforandringer.

Det kan konkluderes ud fra undersøgelserne at klimaændringerne, modelsimuleret ved klimascenarie B2, vil betyde en svagt forøget udvaskning af PCE fra kilden og dermed stærkere påvirkning af grundvandsmagasinet. Udbredelsen af fanen ses på figur 5. Den lille effekt forklares ved at der ved ændrede klimaforudsætning ud over en øget transport igennem fyldet i lossepladsen samtidig sker en fortykning af PCE i kraft af højere grundvandsstand i området.



FIGUR 5: OVERSIGTSKORT OVER FORURENINGSUDBREDELSE FRA ET DEPONI FORURENET MED TCE. UDBREDELSESFANEN FREM TIL ÅR 2100 MED ET NUTIDIGT KLIMA SES TIL VENSTRE. TIL HØJRE SES UDBREDELSESFANEN I ET B2 KLIMASCENARIO. /3/

Dette studie tyder således ikke på at de ændrede hydrologiske forudsætninger ændrer trusselsbilledet markant.

Diskussion

Grundvand:

Umiddelbart ud fra de beskrevne cases er der en tendens til at de ændrede klimaforudsætninger ikke har den store effekt på udbredelsesfanerne i grundvandssystemerne. I Eskelundcasen viste det sig at det er langt vigtigere at holde styr på den nærliggende indvinding ved Stautrup kildepladsen, da denne kunne ændre potentialeforholdene og dermed strømningsmønstret i området.

Undersøgelser ved Vellev viste små ubetydelige ændringer af fanen ved et klimascenarie B2.

Yderligere viste modelopsætningen ved Hørløkke at forureningsfanen i et ændret klima blev kortere, da forureningsfanen blev fikseret af vandløbet i nærheden.

Overfladevand:

Et andet billede viser sig når de nærliggende overfladevandssystemer betragtes. I modelopsætningen ved Eskelund viste de ændrede klimaforhold at øge transporten imod Aarhus å betragteligt. Således var der i ekstremsituationen en øget transport af masse på 19 gange udgangspunktet.

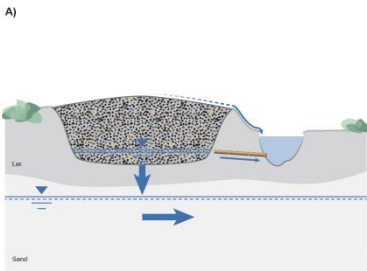
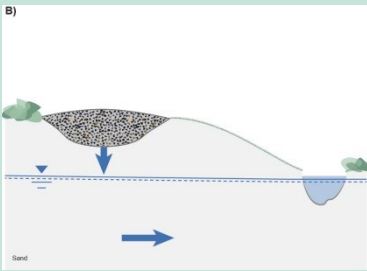
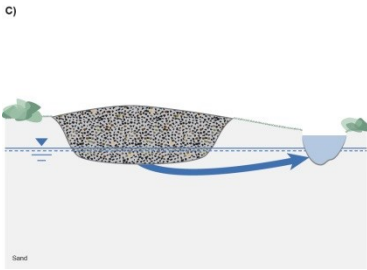
Da forudsætningerne i hydrogeologi, stofindhold og koncentration ved de enkelte deponier varierer betydeligt anbefales det at lave lokale analyser af forureningsspredning og fluks. Ved mere komplekse situationer anbefales anvendelse og opstilling af grundvandsmodeller baseret på solide geologiske modeller for at forudsige effekterne af klimaændringer på forureningsspredning.


Referencer

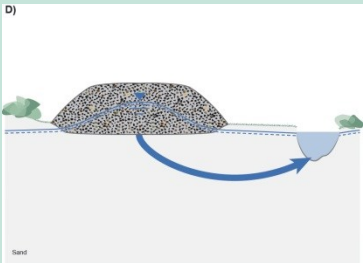
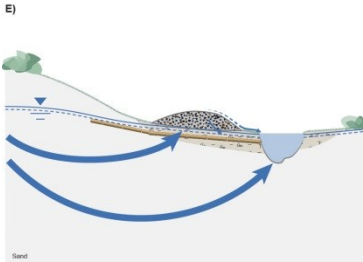
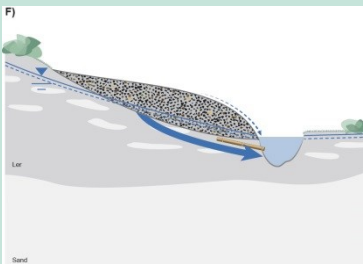
- /1/ Region Midtjylland, 2012: Eskelund Losseplads. Klimapåvirkning, modelopsætning, kalibrering og scenarieberegninger med Hydrogeosphere. Delrapportering fra CLIWAT projektet. Alectia
- /2/ Region Syddanmark, 2011. Hørløkke – CLIWAT model. Alectia.
- /3/ Region Midtjylland. (2011). Vellev Losseplads. Lokal model for stoftransport i umættet zone og grundvand (lok.nr. 767-00009), Niras.
- /4/ Miljøministeriet, 1996. Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen, Nr. 20. Peter Kjeldsen og Thomas Christensen.
- /5/

Bilag 2: Losseplads-typologier

Oversigt over de seks anvendte typologier samt vurdering af risikoen for forurening af overfladevand. Der er ikke taget højde for fortyndingen i overfladevandet ved vurdering af påvirkningen. Fra Miljøstyrelsen (2014a).

Losseplads typologi	Konceptuel model	Påvirkning af overfladevand	Eksempel
A En losseplads i umættet zone med hængende vandspejl i bunden (fx tidligere lergrav).	A) 	Lille risiko. Vær dog opmærksom på dræn	Hejrevej Losseplads, Silkeborg
B Tør eller bakkeformet losseplads i umættet zone og ofte i betydelig afstand fra vandløb.	B) 	Lille til moderat risiko. Stor dæmpning i umættet zone. Afstanden til vandløbet er ofte betydelig.	Sjølund Losseplads, Tuxen et al. (2003)
C En våd losseplads i et sandmagasin (fx en gammel grusgrav)	C) 	Moderat risiko. Vil være stærkt afhængig af afstanden til overfladevand	Ribjergvej Losseplads



Losseplads typologi	Konceptuel model	Påvirkning af overfladevand	Eksempel
D En våd losseplads i et sandmagasin med forhøjet grundvandsspejl i lossepladsen (mound)		Moderat risiko. Vil være stærkt afhængig af afstanden til overfladevand.	Vejen Losseplads, Kjeldsen (1991) Grindsted Gamle Losseplads (Bjerg og Kjeldsen, 2010)
E En losseplads på et engareal i et udsivningsområde til et vandløb		Stor risiko for påvirkning af engareal og vandløb. Vær opmærksom på drænafstrømning.	Mågevej Losseplads, Miljøstyrelsen (2014a) - bilag 4
F En losseplads i moræneler tæt ved et vandløb (typisk på en skråning)		Stor risiko for påvirkning af engareal og vandløb. Vær opmærksom på drænafstrømning	Lilleskovvej Losseplads, Miljøstyrelsen (2014a) -bilag 5; Risby Losseplads, Thomsen et al. (2012)



Transportvej



Dræn

Klimaforandringernes indflydelse på risikovurdering af lossepladser - opsamlingsnotat efter workshop

Klimaforandringer kan ændre resultaterne af de risikovurderinger, som bliver udarbejdet som beslutningsgrundlag for regionerne indsats overfor de lossepladser, der truer overfladevand. Bl.a. kan klimaforandringerne ændre på spredningen af forurening fra lossepladserne via grundvand til vandløb, søer og havet.

Miljøprojektet giver bud på, hvad klimaforandringer betyder for den fremtidige forureningsudvaskning fra lossepladser og hvilken effekt det kan have på overfladevand (vandløb). Projektets gennemgang af betydende elementer, processer samt relevante metoder giver en beskrivelse af, hvordan en screening af et evt. fremtidigt ændret risikobillede kan udføres i praksis.



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Strandgade 29
1401 København K
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

www.mst.dk